

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт
з дисципліни «Електробезпека в будівництві»
(для студентів усіх форм навчання спеціальності
7.06010101, 8.06010101 «Будівництво»)

Харків – ХНУМГ ім. О. М. Бекетова – 2015

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Електробезпека в будівництві» (для студентів усіх форм навчання спеціальності 7.06010101, 8.06010101 «Будівництво») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад. : Я. О. Серіков, О. В. Царевський, О. А. Одаренко. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015 – 71 с.

Укладачі: Я. О. Серіков, О. В. Царевський, О. А. Одаренко

Рецензент: А. М. Гарьковець, доц. кафедри Охорони праці та безпеки життєдіяльності

Рекомендовано кафедрою Охорони праці та безпеки життєдіяльності, протокол № 11 від 29.05.2015 р.

ЗМІСТ

	Стор.
Правила безпеки при виконанні лабораторних робіт	4
1 Лабораторна робота № 1. Дослідження умов електробезпеки в мережах трифазного струму напругою до 1000 В з глухозаземленою нейтраллю	5
2 Лабораторна робота № 2. Дослідження умов електробезпеки в мережах трифазного струму напругою до 1000 В з ізольованою нейтраллю	14
3 Лабораторна робота № 3. Дослідження електричного поля при замиканні на землю	21
4 Лабораторна робота № 4. Дослідження ефективності захисного заземлення	31
5 Лабораторна робота № 5. Дослідження ефективності занулення	37
6 Лабораторна робота № 6. Дослідження опору ізоляції методом трьох вольтметрів	44
7 Лабораторна робота № 7. Дослідження опору ізоляції мегомметром	52
8 Лабораторна робота № 8. Дослідження опору захисного заземлення та ізоляції струмоведучих частин електричних установок	70
Література	71

ПРАВИЛА БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОНАННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

До роботи допускаються студенти, що ознайомилися з відповідними методичними вказівками і пройшли інструктаж з охорони праці.

Приступати до виконання лабораторних робіт дозволяється тільки з дозволу викладача після перевірки знання лабораторного стенду.

Студентам необхідно дотримувати обережність, не прикладати значних фізичних зусиль при переключеннях, передбачених ходом лабораторної роботи.

Забороняється робити переключення, не передбачені ходом лабораторної роботи.

Лабораторна робота №1

ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ В МЕРЕЖАХ ТРИФАЗНОГО СТРУМУ НАПРУГОЮ ДО 1000 В З ГЛУХОЗАЗЕМЛЕНОЮ НЕЙТРАЛЛЮ

Мета роботи – дослідження впливу опору тіла людини і параметрів мережі з глухозаземленою нейтраллю на ступінь її можливого ураження електричним струмом; вивчення видів електричних травм; аналіз електробезпеки мережі з глухозаземленою нейтраллю; ознайомлення з методами захисту в електроустановках при експлуатації мережі з глухозаземленою нейтраллю.

1.1. Загальні положення

Електробезпека – система організаційних і технічних заходів і засобів, що забезпечують захист людей від шкідливого і небезпечного впливу електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля і статичної електрики.

При роботі на електроустановках випадки ураження електричним струмом можливі лише при замиканні електричного ланцюга через тіло людини, тобто при дотику людини, як мінімум, до двох точок ланцюга, що характеризуються деякою різницею потенціалів. При цьому електричний струм, що проходить через живі тканини, робить термічний, електролітичний і біологічний вплив. Тяжкість поразки людини в цьому випадку залежить від величини струму, що протікає через тіло людини. Величина струму, у свою чергу, залежить від цілого ряду факторів: схеми включення людини в електричний ланцюг, частоти і напруги мережі, схеми самої мережі, режиму її нейтралі, стану ізоляції струмоведучих частин, індивідуальних особливостей людини (стану нервової системи і

всього організму в цілому, маси людини, її фізичного розвитку, цілісності шкіряного покриву в місці контакту з електричним ланцюгом і ін.). Зазначена розмаїтість дій електричного струму і супутніх факторів приводить до різних електротравм, що умовно підрозділяють на два види – електричні удари і місцеві електричні травми (дод. 1.1).

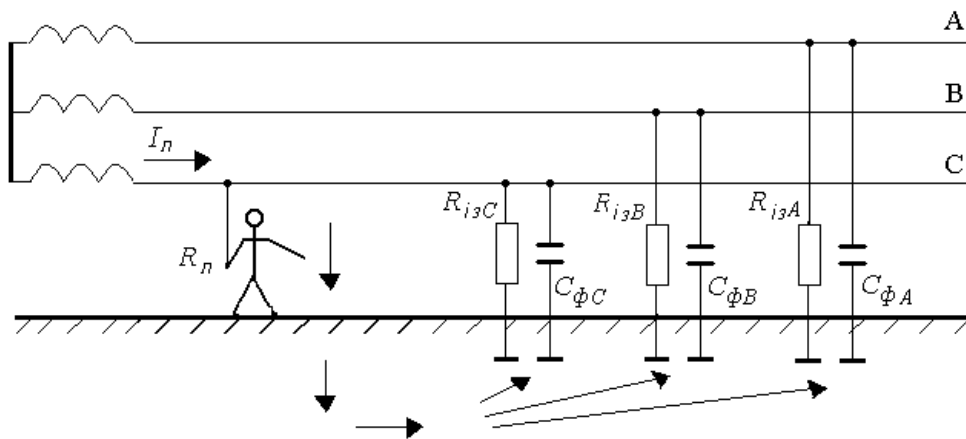


Рис. 1.1 - Електрична мережа з ізольованою нейтраллю. Однофазне включення людини в електричній мережі з ізольованою нейтраллю: $R_{iz.C}, C_{\phi C}$ - відповідно електричний опір ізоляції та електрична ємність фази C відносно землі; $R_{iz.B}, C_{\phi B}$ - відповідно електричний опір ізоляції та електрична ємність фази B відносно землі; $R_{iz.A}, C_{\phi A}$ - відповідно електричний опір ізоляції та електрична ємність фази A відносно землі; $R_{\text{л}}$ - електричний опір тіла людини ($R_{\text{л}} = 1000 \text{ Ом}$); $I_{\text{л}}$ - електричний струм, що протікає через тіло людини

Розрізняють однофазні і трифазні мережі перемінного струму. У промисловості переважно застосовуються трифазні мережі, причому найбільше поширення на практиці одержали наступні види – з ізольованою нейтраллю (рис.1.1) і чотирипроводні з глухозаземленою нейтраллю (рис.1.2 і дод. 1.2).

При роботі на таких мережах можливі два основних види включення людини в електричний ланцюг – дотик до однієї і до двох фаз. Імовірність однофазного дотику істотно перевищує імовірність двофазного дотику.

Розглянемо шлях і величину струму, що протікає через тіло людини в цих випадках, з метою характеристики мережі з глухозаземленою нейтраллю з позицій електробезпеки.

При двофазному дотику людини до струмоведучих частин електроустановки чи до двох фаз трифазної мережі (рис.1.3) вона виявляється під дією лінійної напруги. Струм, що протікає через тіло людини, можна визначити за формулою

$$I_q = \frac{U_L}{R_L} = \frac{\sqrt{3}U_\phi}{R_q}, \quad (1.1)$$

де U_L , U_ϕ – лінійна і фазна напруга мережі;

R_q – опір тіла людини.

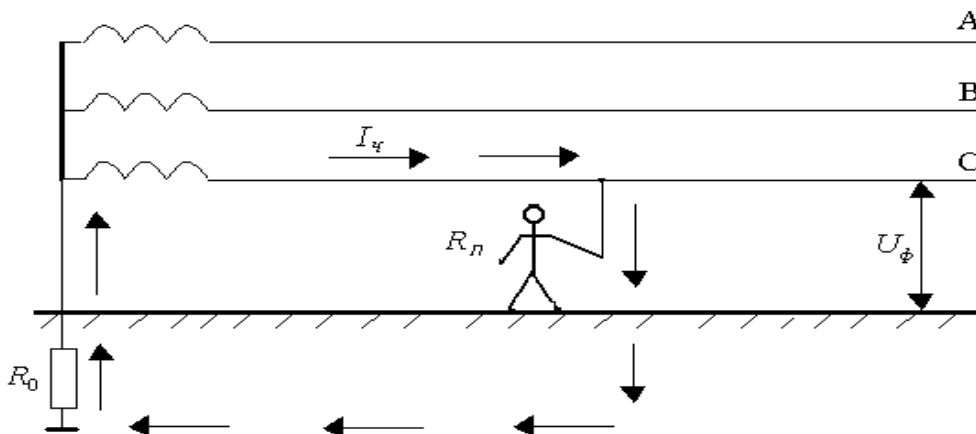


Рис. 1.2 - Мережа з глухо заземленою нейтраллю. Однофазне включення людини в мережі з глухозаземленою нейтраллю: I_q – шлях електричного струму, який протікає через тіло людини; R_L – опір тіла людини електричному струму; R_0 – опір глухого заземлення нейтралі електричної мережі

При однофазному дотику людини в трифазній мережі (рис. 1.1) струм, що проходить через тіло людини, визначається виразом:

$$I_q = \frac{U_\phi}{R_q + Z_{из}}, \quad (1.2)$$

де $Z_{из}$, – повний опір ізоляції мережі відносно землі.

При однофазному дотику в чотирипроводній мережі з глухозаземленою нейтраллю струм, що проходить через тіло людини, можна визначити з вираження

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\phi}}{R_{\text{ч}} + R_0} \approx \frac{U_{\phi}}{R_{\text{ч}}}, \quad (1.3)$$

де R_0 – опір заземлення нейтралі, $R_0 \ll R_{\text{ч}}$.

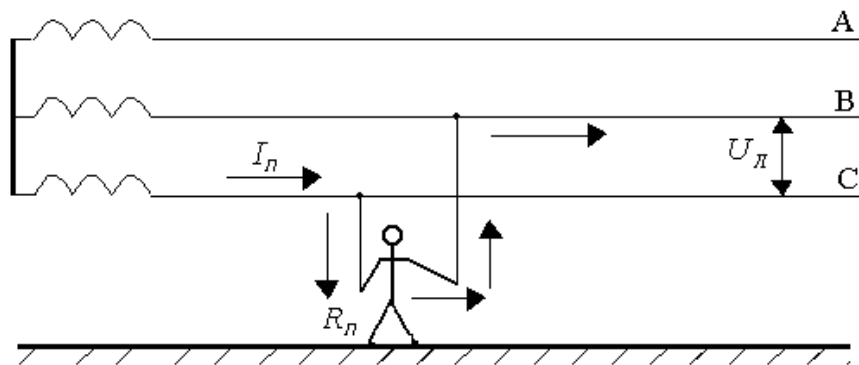


Рис. 1.3 - Двофазне включення людини в електричний ланцюг:
 $I_{\text{л}}$ – шлях електричного струму, що протікає через тіло людини;
 $R_{\text{л}}$ – опір тіла людини електричному струму; $U_{\text{л}}$ – лінійна напруга

У цьому випадку людина попадає під фазну напругу, причому величина струму практично не залежить ні від опору ізоляції, ні від ємності мережі відносно землі, а визначається практично тільки величиною опору тіла людини, взуття, підлоги й ін.

Однофазний дотик у чотирипроводній мережі з глухозаземленою нейтраллю при замиканні однієї з фаз на землю призводить до формування напруги, прикладеної до тіла людини, що визначається наступним виразом: $U_{\text{л}} > U_{\text{H}} > U_{\phi}$.

Таке положення пов'язане з тим, що замикання на землю однієї з фаз чотирипроводної мережі з глухозаземленою нейтраллю мало змінює напругу фаз відносно землі.

1.2. Експериментальна частина лабораторної роботи

1.2.1. Опис лабораторної установки

Вплив опору тіла людини і параметрів мережі з глухозаземленою нейтраллю на величину струму, що впливає на працюючого, досліджується на універсальному стенді, що моделює дотик людини до металевого корпусу устаткування. Передбачена можливість дискретної зміни моделюємих величин. Контроль параметрів здійснюється вбудованими амперметром і вольтметром. Стенд складається з базового блоку і вертикальної панелі (рис. 1.4).

1.2.2. Порядок виконання роботи

Дослідження мережі з глухозаземленою нейтраллю

1. Перевести тумблер « R_0 » на вертикальній панелі в положення «вкл».
2. Вимірити за допомогою вольтметра ВЗ-38 напругу мережі.
3. Включити тумблер «замикання». При цьому на корпусі електродвигуна запалюється індикатор, що свідчить про моделювання аварійної ситуації.
4. Зняти залежність величини струму, що протікає через тіло людини, струму і напруги дотику при наступних умовах: $I_{\text{ч}} = f(R_{\text{ч}})$; $U_{\text{ДП}} = f(C_A)$ при $C_A = C_B = C_C = 1,5 \text{ мкФ}$; $R_A = R_B = R_C = 400 \text{ кОм}$;

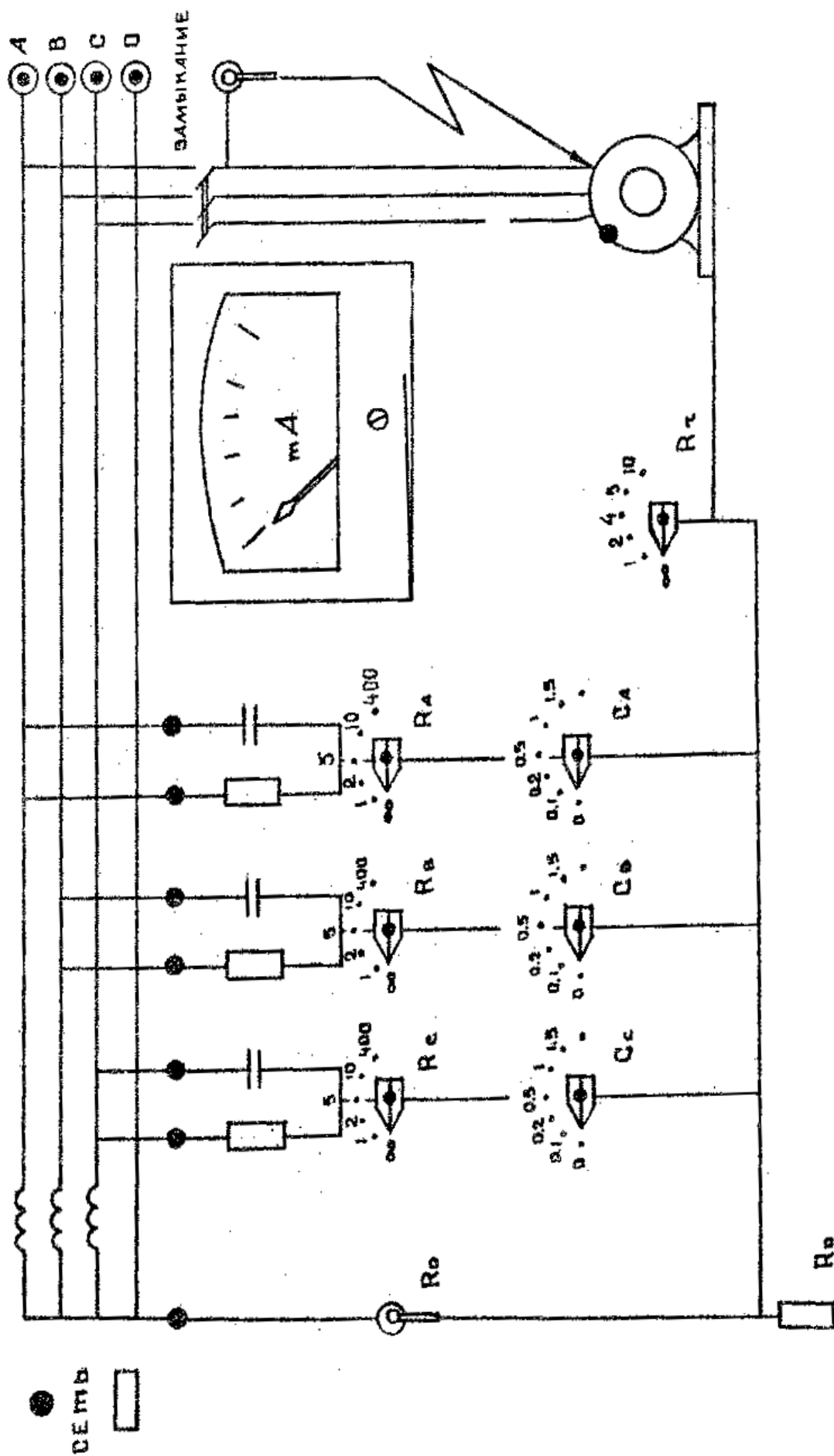


Рис.1.4. Стенд дослідження електробезпеки в трифазних мережах

Результати вимірів занести в табл.1.1.

Таблиця 1.1 Залежність величини струму і напруги дотику від опору тіла людини

$R_{\text{ч}}, \text{кОм}$	∞	1	2	4	5	10
$I_{\text{ч}}, \text{мА}$						
$U_{\text{пр}},$						

5. Виключити тумблер «замикання».

6. Виключити вертикальну панель кнопкою «мережа». Перевести тумблер «мережа» на базовому блоці в нижнє положення. (Живлення стенда виключено).

7. Побудувати за результатами табл. 1.1 графік залежності $I_{\text{ч}} = f(R_{\text{ч}})$; $U_{\text{пр}} = f(R_{\text{ч}})$.

Проаналізувати на підставі отриманих результатів ступінь небезпеки дотику людини до корпусу електроустаткування для різних режимів нейтралі мережі живлення.

Додаток 1.1.

Види ураження людини електричним струмом

Електрична травма – травма, викликана впливом електричного струму чи електричної дуги.

Електричний удар – порушення живих тканин електричним струмом, яке викликає поразку людини різного ступеня через порушення нормальної діяльності життєво важливих органів або систем організму .

Місцева електрична травма – яскраво виражене місцеве порушення цілісності тканин тіла, у тому числі кісткових, викликане впливом електричного струму чи електричної дуги.

Види місцевих електричних травм:

а) *електричний опік* – поразка тканин організму в результаті температурного згорання білка при проходженні електричного струму значної величини. Електричний опік буває струмовий (контактний) і дуговий (дистанційний).

в) *електричні знаки* – різко окреслені плями сірого чи блідо-жовтого кольору на поверхні тіла, викликані хімічною і механічною дією електричного струму при торканні людини до струмоведучої частини;

г) *електрометалізація шкіри* – проникнення під поверхню шкіри часток металу внаслідок розбризкування і випарювання його під дією струму, наприклад при горінні електричної дуги;

д) *електроофтальмія* – запалення зовнішніх оболонок ока (роговиці і кон'юктиви), що виникає в результаті впливу потоку ультрафіолетових променів електричної дуги;

е) *механічні ушкодження* – забиті місця, переломи й ін. при падінні з висоти, унаслідок мимовільних рухів чи втрати свідомості, викликаних дією струму, що проходить через організм людини.

Додаток 1.2

Терміни і визначення

Нейтраль – нейтральна точка обмотки чи джерела електричної енергії, напруга якої щодо всіх зовнішніх виводів обмотки однакова за абсолютним значенням.

Глухозаземлена нейтраль – нейтраль, заземлена приєднанням до заземлювача безпосередньо чи через малий опір.

Лінійна напруга – напруга між двома фазами мережі.

Фазна напруга – напруга між фазою мережі живлення і «землею».

Контрольні запитання

1. Визначення мережі з глухозаземленою нейтраллю.
2. Перелічити параметри трифазної мережі з глухозаземленою нейтраллю, що визначають ступінь поразки людини електричним струмом при її включенні в електричний ланцюг.
3. Зробити порівняльний аналіз однофазного і двофазного включення людини в електричну мережу.
4. Які технічні засоби і заходи використовуються для захисту людини при роботі в електроустановках в мережах з глухозаземленою нейтраллю.

Лабораторна робота № 2

ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ В МЕРЕЖАХ ТРИФАЗНОГО СТРУМУ НАПРУГОЮ ДО 1000 В З ІЗОЛЬОВАНОЮ НЕЙТРАЛЛЮ

Мета роботи – дослідження впливу опору тіла людини і параметрів мереж з ізольованою нейтраллю на ступінь можливої поразки електричним струмом; вивчення видів електричних травм; аналіз електробезпеки мережі з ізольованою нейтраллю джерела живлення; ознайомлення з методами захисту в електроустановках при експлуатації мереж з ізольованою нейтраллю джерела живлення.

2.1. Загальні положення

Електробезпека – система організаційних і технічних заходів і засобів, що забезпечують захист людей від шкідливого і небезпечного впливу електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля і статичної електрики.

Як було зазначено вище (ЛБ. № 1), випадки поразки людини електричним струмом при роботі в електроустановках можливі лише при замиканні електричного ланцюга через тіло людини, тобто при дотику людини, як мінімум, до двох точок ланцюга, що характеризуються деякою різницею потенціалів. При цьому електричний струм, що проходить через живі тканини тіла людини, робить термічний, електролітичний і біологічний вплив. При цьому, ступінь ураження людини залежить від **величини струму**, що протікає через її тіло. Величина струму залежить від ряду факторів: схеми включення людини в електричний ланцюг, частоти і напруги мережі, схеми самої мережі, режиму її нейтралі, стану опору ізоляції струмоведучих частин, стану нервової системи, фізичного стану

організму в цілому, маси людини, його фізичного розвитку, цілісності шкіряного покриву в місці контакту з електричним ланцюгом і ін.

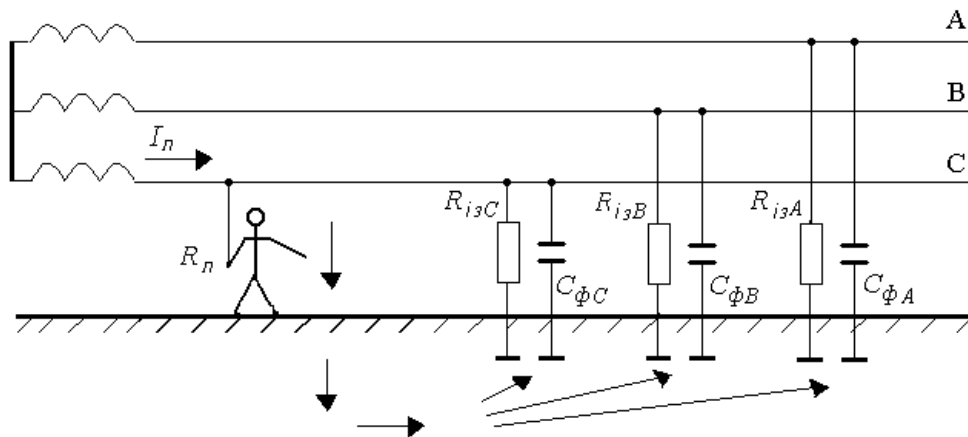


Рис. 2.1 - Електрична мережа з ізолюваною нейтраллю. Однофазне включення людини в електричній мережі з ізолюваною нейтраллю: $R_{из.C}$, $C_{\phi C}$ - відповідно електричний опір ізоляції та електрична ємність фази С відносно землі; $R_{из.B}$, $C_{\phi B}$ - відповідно електричний опір ізоляції та електрична ємність фази В відносно землі; $R_{из.A}$, $C_{\phi A}$ - відповідно електричний опір ізоляції та електрична ємність фази А відносно землі; $R_{л}$ - електричний опір тіла людини ($R_{л} = 1000 \Omega$); $I_{л}$ - електричний струм, що протікає через тіло людини

При однофазному дотику людини в трифазній мережі з ізолюваною нейтраллю, що характеризується значною довжиною фазних проводів або розгалуженістю (рис. 2.1), струм, що проходить через тіло людини, визначається за таким виразом:

$$I_{ч} = \frac{U_{\phi}}{R_{ч} + Z_{из}}, \quad (2.1)$$

де $Z_{из}$, – повний опір ізоляції мережі відносно землі.

Для мережі з ізолюваною нейтраллю напругою до 1000 В малої довжини, ємнісним опором фаз відносно землі можна зневажити і прийняти опір ізоляції фаз як чисто активний (рис. 2.2). При цьому величина струму, що протікає через тіло людини буде дорівнювати

$$I_{ч} = \frac{U_{\phi}}{R_{ч} + \frac{R_{из}}{3}}, \quad (2.2)$$

де $R_{ИЗ}$ – активна складова опору ізоляції фаз.

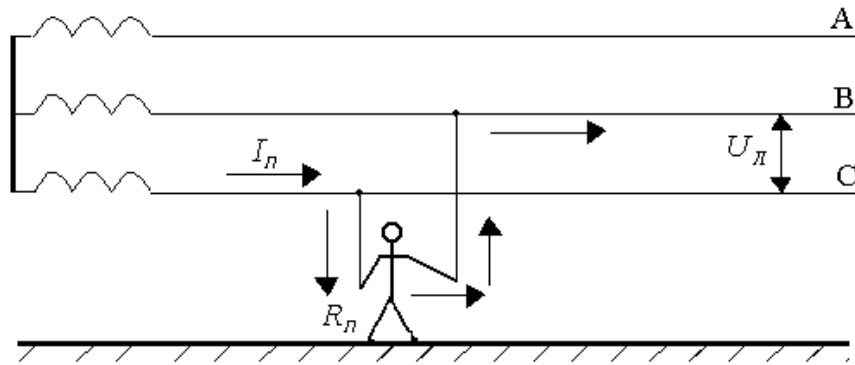


Рис. 2.2 - Двофазне включення людини в електричний ланцюг в короткій мережі з ізолюованою нейтраллю:

I_n – шлях електричного струму, що протікає через тіло людини;

R_n – опір тіла людини електричному струму; U_n – лінійна напруга

Таким чином, аналізуючи вираз (2.1, 2.2.), можна сказати, що при однофазному дотику в мережі з ізолюованою нейтраллю при малій ємнісній складовій опору ізоляції, величина струму, що проходить через тіло людини, залежить, в основному, від величини $R_{ИЗ}$, оскільки, як правило, $R_q \ll R_{ИЗ}$ (наприклад: $R_{ИЗ} \approx 0,5 \text{ МОм}$; $R_q \approx 1000 \text{ Ом}$). При включенні людини в ланцюг на мережах великої довжини струм, що протікає через його тіло, навіть за умови $R_1 = R_2 = R_3 \rightarrow \infty$ визначається виразом:

$$I_q = \frac{3U_\phi}{9R_q^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}, \quad (2.3)$$

де $\frac{1}{\omega C}$ – ємнісна складова опору ізоляції фаз, Ом.

Отже, у цьому випадку (при значному активному опорі і великих значеннях ємнісної складової опору фаз щодо землі) величина струму, що протікає через тіло людини, у значній мірі визначається ємністю між фазами і землею. При однофазному дотику до трифазної мережі, у випадку

замикання однієї з фаз на землю, струм, що проходить через людину, може бути визначений з виразу

$$I_q = \frac{\sqrt{3}U_\phi}{R_q}, \quad (2.4)$$

Небезпека ураження в цьому разі зростає через те, що напруга ушкодженої фази при цьому значно знижується, а напруги не пошкоджених фаз зростають практично до U_L .

2.2. Експериментальна частина лабораторної роботи

2.2.1. Опис лабораторної установки

Вплив опору тіла людини і параметрів розглянутих мереж на величину струму, що впливає на працюючого, досліджується на універсальному стенді, що моделює дотик людини до металевого корпусу устаткування. Розподілені параметри ізоляції фаз відносно землі, що існують у реальних умовах, імітуються набором зосереджених величин опору і ємності, а R_q представлено активним опором. Передбачена можливість дискретної зміни моделюємих величин. Контроль параметрів здійснюється вбудованими амперметром і вольтметром. Стенд складається з базового блоку і вертикальної панелі (рис. 1.4).

2.2.2. Порядок виконання роботи

Дослідження мережі з ізольованою нейтраллю

1. Відповідно до отриманого завдання розрахувати струм, що протікає через тіло людини, при однофазному дотику. Дані для розрахунку взяти з табл. 2.1.

2. Установити перемикачі « R_A », « R_B », « R_C » і « R_U » у положення « ∞ », а перемикачі « C_A », « C_B », « C_C » – у положення «0».

3. Перевести тумблер R_0 у положення «*викл*».

4. Включити на стенді тумблер «*мережа*», а на вертикальній панелі натиснути кнопку «*мережа*». Про готовність стенду до роботи сигналізує лампочка на блоці, а на вертикальній панелі запалюється індикатор (світлодіод).

Таблиця 2.1 Варіанти завдань для розрахунку величини струму, що протікає через тіло людини, при однофазному дотику

Порядковий номер по списку	1 16	2 17	3 18	4 19	5 20	6 21	7 22	8 23	9 24	10 25	11 26	12 27	13 28	14 29	15 30
R, Ом	∞	1	5	∞	2	10	∞	400	10	∞	4	8	∞	15	600
C, мкФ	0,1	0	0	0,2	0	0	0,5	0	0	1	0	0	1,5	0	0,5

5. Виміряти за допомогою вольтметра ВЗ-38 напругу мережі.

6. Включити на вертикальній панелі стенду тумблер «*замикання*». Поява напруги на корпусі електроустаткування підтверджується запалюванням індикатора.

7. Зняти залежність величини струму, що протікає через тіло людини, струму і напруги дотику від наступних величин:

а) від величини опору ізоляції фаз $R = R_A = R_B = \infty, 1, 2, 5, 10, 400$ кОм, при фіксованих значеннях:

— величини ємності фаз $C_A = C_B = C_C = 0$ мкф;

— величини опору тіла людини $R_U = 1$ кОм.

Результати вимірів занести в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 Залежність величини струму і напруги дотику від величини опору ізоляції фаз

$R_{\phi}, \text{кОм}$	∞	1	2	5	10	400
$I_{\text{ч}}, \text{мА}$						
$U_{\text{пр}}, \text{В}$						

б) від величини ємності фаз відносно землі $C_A = 0; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5 \text{ мкФ}$ при фіксованих значеннях:

— величини опору ізоляції фаз $R_A = R_B = R_C = 400 \text{ кОм}$;

— величини опору тіла людини $R_{\text{ч}} = 1 \text{ кОм}$.

Результати вимірів занести в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 Залежність величини струму і напруги дотику від ємності фаз щодо землі

$C_A, \text{мкФ}$	0	0,1	0,2	0,5	1,0	1,5
$I_{\text{ч}}, \text{мА}$						
$U_{\text{пр}},$						

8. Виключити на вертикальній панелі тумблер «замикання».

9. Побудувати за результатами табл. 2.2 і 2.3 наступні графіки залежності: $I_{\text{ч}} = f(R_{\phi})$; $U_{\text{пр}} = f(R_{\phi})$; $I_{\text{ч}} = f(C)$; $U_{\text{пр}} = f(C)$.

Контрольні запитання

1. Визначення мережі з ізолюованою нейтраллю.
2. Перелічити параметри трифазної мережі з ізолюованою нейтраллю, що визначають ступінь поразки людини електричним струмом при її включенні в електричний ланцюг.
3. Виконати розрахунок струму, що протікає через тіло людини в короткій мережі з ізолюованою нейтраллю при однофазному включенні.
4. Виконати розрахунок струму, що протікає через тіло людини в подовженій чи розгалуженій мережі з ізолюованою нейтраллю при

однофазному включенні при величині ємнісного опору фаз відносно землі $x_c = 10 \text{ кОм}$.

5. Зробити порівняльний аналіз однофазного і двофазного включення людини в електричну мережу.

6. Зробити порівняльний аналіз включення людини в коротких і подовжених чи розгалужених мережах з ізольованою нейтраллю.

7. Які технічні засоби і заходи використовуються для захисту людини при роботі в електроустановках в мережах з глухозаземленою нейтраллю.

Лабораторна робота № 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ ПРИ ЗАМИКАННІ НА ЗЕМЛЮ

Мета роботи – дослідження закону розподілу потенціалів у ґрунті поблизу заземлювача; визначення величини напруг дотику, кроку і виявлення небезпечних зон для людини.

3.1. Загальні положення

3.1.1. Вказівки по підготовці до роботи

Ознайомитися з наступними питаннями:

- закон розподілу потенціалу на поверхні землі при стіканні струму в землю через одиночний заземлювач;
- електричний опір землі;
- опір заземлювача розтіканню струму;
- напруга дотику до заземлених неструмоведучих частин, які виявилися під напругою;
- виникнення напруги кроку в зоні розтікання струму;
- способи зменшення небезпеки поразки людини напругою кроку.

3.1.2. Сутність роботи

Стікання струму в землю відбувається при замиканні струмоведучих частин на заземлений корпус, падінні проводу на землю й ін. При цьому виникають потенціали на поверхні землі, на заземлювачі і довкола нього.

При стіканні струму в землю через заземлювачі різної форми закон розподілу потенціалів буде різним і досить складним.

З метою спрощення форми розподілу електричного поля навколо заземлювача й аналізу поля, допустимо, що струм I_3 стікає в землю через

Потенціал довільної точки А на поверхні землі визначається в такому випадку за формулою

З огляду на те, що вираз $\frac{I_3 \cdot \rho}{2\pi} = const = k; \varphi_A = \frac{h}{x}$ є рівнянням гіперболи,

Для людини, що стоїть на ґрунті і доторкається до заземленого корпусу, який виявився під напругою (рис. 3.2), напруга дотику може бути визначена за виразом

де $\varphi_P = U_3 = \frac{I_3 \cdot \rho}{2\pi \cdot x_2}$ (потенціал руки чи корпусу);

$$\varphi_H = \frac{I_3 \cdot \rho}{2\pi \cdot x} \text{ (потенціал ґрунту в точці розташування ніг людини)}.$$

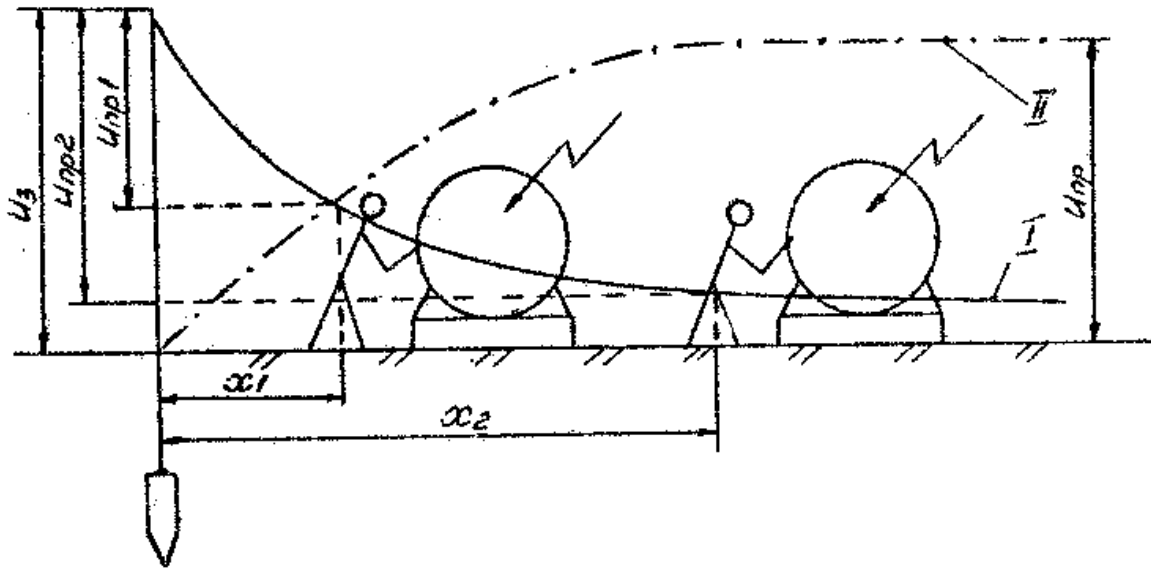


Рис. 3.2 - Формування напруги дотику до заземлених неструмоведучих частин електричної установки, які виявилися під напругою

Якщо в (3.2) поставити значення потенціалу рук і ніг з φ_R і φ_H , то одержимо напругу дотику

$$U_{пр} = \frac{I_3}{2\pi \cdot x_3} \cdot \frac{x - x_3}{x} = \frac{I_3}{2\pi \cdot x_3} \alpha = U_3 \cdot \alpha, \quad (3.3)$$

де $\alpha = \frac{x - x_3}{x}$ (коефіцієнт напруги дотику).

В міру віддалення від заземлювача, напруга дотику зростає і на відстані більше 20 м вона дорівнює напрузі заземлювача відносно землі.

Між двома точками землі, що знаходяться на ділянці розтікання струму при замиканні на землю, на різних радіусах від точки розтікання існує деяка різниця потенціалів, що називається напругою кроку.

Напруга кроку визначається як різниця потенціалів між точками *A* і *B* (рис. 3.3).

Для довільних точок на поверхні ґрунту напруга кроку розраховується по формулі

$$U_m = \frac{I_3 \cdot \rho}{2\pi} \cdot \frac{a}{x(x+a)} = U_3 \cdot \beta, \quad (3.5)$$

де $\beta = \frac{I_3 \cdot \rho}{2\pi \cdot x_3}$ (коефіцієнт напруги кроку).

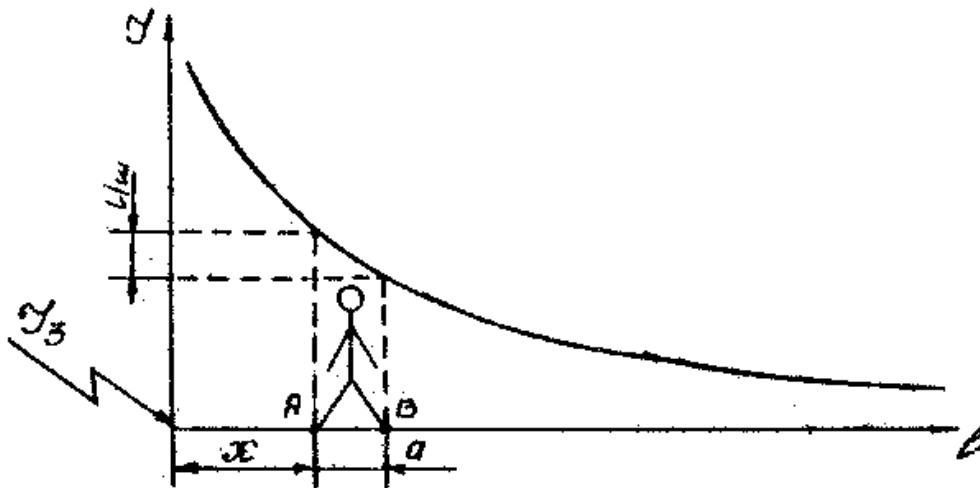


Рис. 3.3 - Формування напруги кроку в області розтікання струму при замиканні на землю

В міру наближення точки A до заземлювача, її потенціал збільшується, а безпосередньо на поверхні заземлювача потенціал буде дорівнювати:

$$\varphi_3 = \frac{I_3 \cdot \rho}{2\pi \cdot x_3} = U_3. \quad (3.6)$$

Коефіцієнт напруги кроку враховує форму потенційної кривої і залежить від форми і конфігурації заземлювача, а також від положення людини відносно заземлювача. Чим ближче до заземлювача, тим більше β .

Напруга кроку дорівнює нулю, якщо обидві ноги людини знаходяться на так званій екіпотенціальній лінії.

3.2. Опис лабораторної установки

Лабораторний стенд (рис. 3.4) складається з базового блоку і вертикальної панелі з необхідними перемикачами, клемми і гніздами.

Стенд дозволяє моделювати замикання на землю внаслідок контакту між струмоведучими частинами і заземленими корпусами електроустановок. Струм замикання стікає в землю через одиночний, заземлювач R_3 . Максимальне видалення від заземлювача точки ґрунту, потенціал якої можна вимірювати на стенді (№ 42), відповідає 20 м у реальних умовах.

Вид ґрунту і значення його питомого електричного опору (табл. 3.1) встановлюються відповідним перемикачем.

Таблиця 3.1 Значення питомих опорів ґрунтів

Номер кнопки	Ґрунт	Питомий опір ρ , Ом·м
1	Пісок	700
2	Суглинок	100
3	Глина	40
4	Чорнозем	20

3.3. Порядок виконання роботи

Завдання 1. Досліджувати електричне поле при стіканні струму в землю через одиночний заземлювач.

1. Поставити перемикач « $U_{сети}$ » у положення, що відповідає варіанту завдання.

2. Натиснути кнопку « $\rho_{грунту}$ » відповідно до варіанта завдання (табл. 3.2).

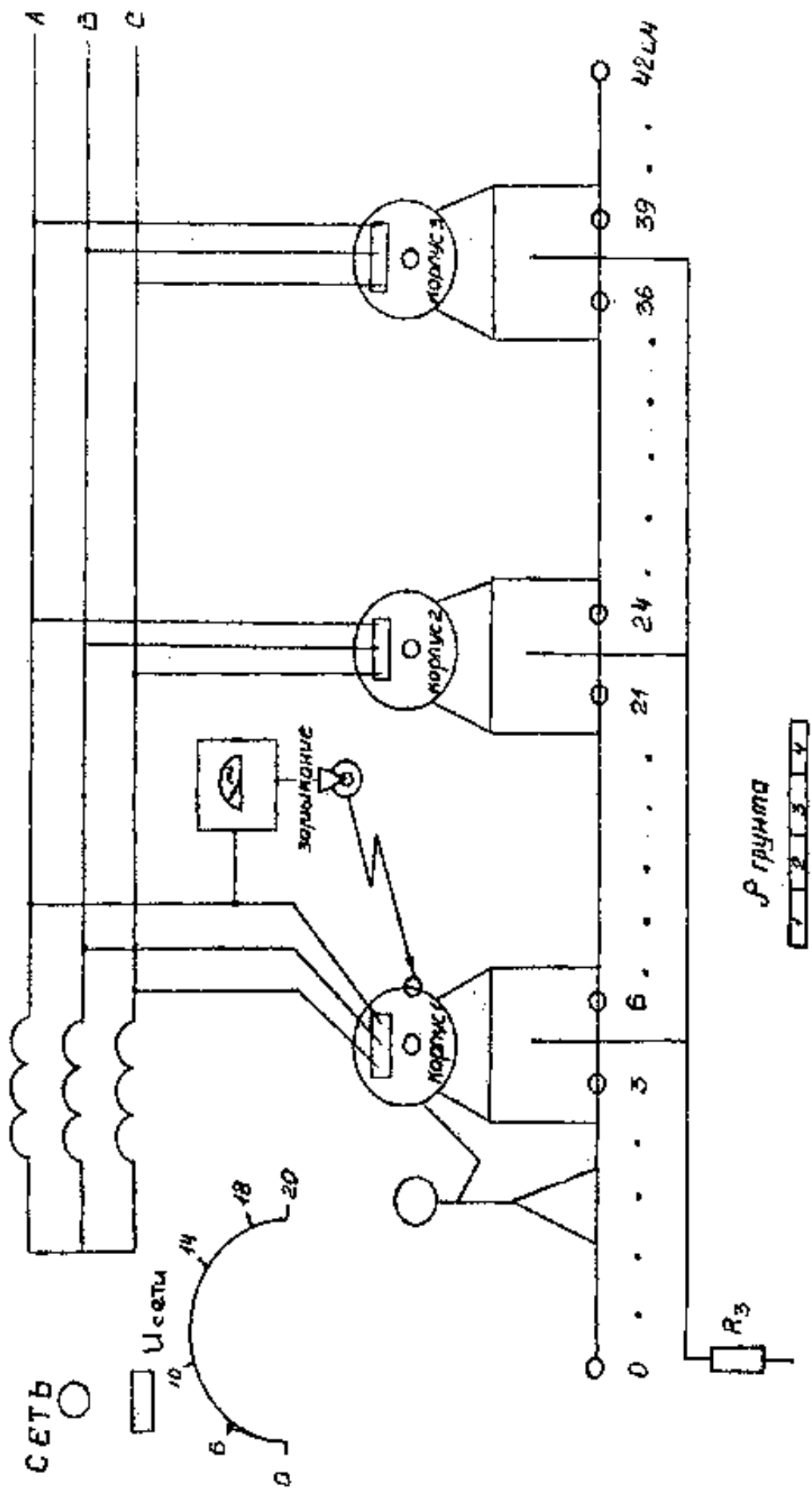


Рис. 3.4 – Стенд для дослідження поля розтікання при замиканні на землю

Таблиця 3.2 Варіанти завдання

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Усети, В	20	18	14	10	6	20	16	14	10	20	18	14
Номер кнопки «р ґрунта»	1	2	3	4	4	2	3	4	3	3	4	2
Ur, В	360	440	520	660	820	480	540	360	720	220	380	440

3. Включити на стенді тумблер «мережа», а на вертикальній панелі натиснути кнопку «мережа». Про готовність стенду до роботи сигналізують лампочка на блоці і на вертикальній панелі.

4. Включити на вертикальній панелі тумблер «замикання». Про появу напруги на корпусі електроустановки свідчить запалювання червоного світлодіода.

5. По міліамперметру визначити струм, що стікає через заземлювач у землю. Значення напруги мережі $U_{сети}$ і струму замикання I_3 занести в табл. 3.3.

6. Визначити загальний опір захисного заземлюючого пристрою:

$$R_3 = \frac{U_{сети}}{I_3}. \quad (3.3)$$

Дані занести в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 Результати вимірів

$U_{сети}$, В	I_3 , мА	R_3 , Ом

7. Зняти показання залежності величини потенціалу точки в досліді L_{on} від відстані цієї точки до заземлювача « R_3 », для чого за допомогою

вольтметра виміряти потенціал точок 0; 3; 6...42 відносно точки землі з нульовим потенціалом « \perp ». Результати вимірів занести в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 Залежність величини потенціалу ґрунту від відстані до заземлювача

L _{оп} , см	0	3	6	9	12	15	16	21	24	27	30	33	36	39	42
φ, В															
L _p , м	0	1,4	2,8	4,3	5,7	7,1	8,6	10	11,4	12,6	14,3	15,7	17,1	18,6	20
φ _p , В															

8. Зробити перерахунок потенціалів, одержаних на моделюючій установці, з урахуванням реальних умов:

$$\varphi_p = \frac{U_p}{U_{сети}} \cdot \varphi_{оп}, \quad (3.8)$$

де φ_p , $\varphi_{оп}$ – потенціали n -ї точки в реальних умовах і в досліді, В;

U_p , $U_{сети}$ – напруги заземлювача в реальних умовах (відповідно до заданого варіанта (табл. 3.2)) і в досліді, В.

Розрахункові дані занести в табл. 3.4.

9. За даними табл. 3.4 побудувати криву розподілу потенціалів, позначивши на осях як дані відстаней і потенціалів точок у досліді, так і реальні:

$$\varphi_{оп} = f(L_{оп}); \varphi_p = f(L_p).$$

Зробити висновки про характер потенційної кривої.

Завдання 2. Визначити напругу дотику.

1. Привести перемикачі базового стенду і вертикальної панелі в положення відповідно до опису, приведеному в пп. 3.1.2.

2. За допомогою вольтметра виміряти напругу дотику за умови знаходження людини в точках 0; 3; 6...42.

Результати вимірів занести в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 Результати вимірів напруги дотику

$L_{оп}, \text{ см}$	0	3	6	9	12	15	16	21	24	27	30	33	36	39	42
$U_{ПР.ОП}, \text{ В}$															
$L_P, \text{ м}$	0	1,4	2,8	4,3	5,7	7,1	8,6	10	11,4	12,8	14,3	15,7	17,1	16,8	20
$U_{ПР.Р}, \text{ В}$															

3. Переконалися проведенням контрольних вимірів напруги дотику, що вона не залежить від того, до якого корпусу доторкається людина (корпус 1; 2; 3), а залежить тільки від відстані точки ґрунту, на якій знаходиться людина, до заземлювача.

4. Зробити перерахунок обмірюваної напруги дотику, В, у досліді $U_{ПР.оп}$ на його значення в реальних з умовах

$$U_{ПР.Р} = \frac{U_P}{U_{сети}} \cdot U_{ПР.Оп}, \quad (3.9)$$

де $U_{ПР.Р}$ – реальна напруга дотику при перебуванні людини в n -й точці;

U_P – напруга заземлювача в реальних умовах відповідно до заданого варіанта (табл. 3.2);

$U_{сети}$ – напруга заземлювача в досліді;

$U_{ПР.Оп}$ – напруга дотику в досліді при перебуванні людини в n -й точці.

Розрахункові дані занести в табл. 3.5.

5. За даними табл. 3.5 побудувати криву напруги дотику в реальних умовах $U_{ПР.Р} = f(L_P)$

6. За графіком $\varphi_P = f(L_P)$, побудованому за даними табл. 3.4, визначити потенціали ніг людини φ_{H1} і φ_{H2} , послідовно переміщаючись від заземлювача на величину кроку (0,8 м). (Ця відстань змодельована на стенді і видержується між кожними двома послідовними точками 0 – 1; 1 – 3; і т.д.)

Дані занести в табл. 3.6.

7. Розрахувати величину напруги кроку, розрахункові дані занести в табл. 3.6.

8. Визначити і позначити на графіку величину небезпечної зони в реальних умовах (допустиму величину напруги кроку прийняти рівною 25 В).

9. Порівняти величину небезпечної зони з вимогами «Правил устрою електроустановок» для закритих приміщень.

Таблиця 3.6 Значення напруги кроку

Показник	Номер кроку				
	1	2	3	4	5
Відстань ніг від заземлювача	$\frac{0}{0,8 \text{ м}}$	$\frac{0,8 \text{ м}}{1,6 \text{ м}}$	$\frac{1,6 \text{ м}}{2,4 \text{ м}}$	$\frac{2,4 \text{ м}}{3,2 \text{ м}}$	$\frac{4,0 \text{ м}}{4,8 \text{ м}}$
Потенціал ближньої ноги φ_{H1} , В					
Потенціал дальньої ноги φ_{H2} , В					
Напруга кроку, В					
$U_m = \varphi_{H1} - \varphi_{H2}$					

Контрольні запитання

1. Описати закон розподілу потенціалу на поверхні землі при стіканні струму в землю через одиночний заземлювач.
2. Форма, зміни напруги дотику в полі розтікання електричного струму.
3. Описати метод вирівнювання потенціалів.
4. Напруга кроку. Як вона виникає?
5. Зміна напруги кроку при віддаленні від заземлювача.
6. Зміни напруги дотику при віддаленні від заземлювача.
7. На яку відстань дозволяється наближатися до місця обриву проводу на відкритій місцевості й у приміщеннях?

Лабораторна робота № 4

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХИСНОГО ЗАЗЕМЛЕННЯ

4.1. Захисне заземлення

Захисне заземлення застосовується в мережах трифазного струму з ізолюваною нейтраллю для усунення небезпеки поразки працюючих при появі напруги на неструмоведучих частинах електроустановки (аварійна ситуація через пробій ізоляції) (рис. 4.4, дод. 4.4). У цьому випадку, завдяки пристрою захисного заземлення, напруга дотику знижується до допустимого рівня. Струм, що проходить через тіло людини у цьому разі визначається наступним виразом:

$$I_q = I_3 \frac{R}{R_q + R_3},$$

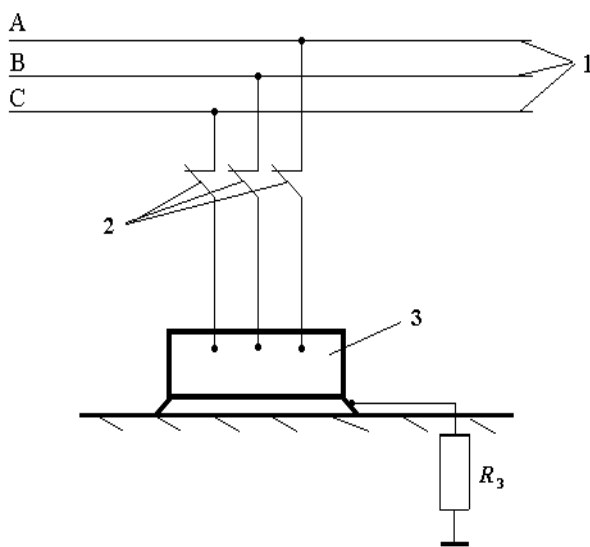


Рис. 4.4 - Схема захисного заземлення електроустановки: 1 – магістраль живлення електричної установки; 2 – контакти електричного вимикача; 3 – електрична установка; R_3 – електричний опір захисного заземлення

де I_3 – струм замикання на землю;

R_3 – опір заземлювача.

Основним параметром захисних заземлюючих пристроїв є його опір розтіканню електричного струму. Нормативними документами встановлено, що опір захисного заземлення в електроустановках напругою до 1000 В не повинен перевищувати 4 Ом.

4.2. Експериментальна частина лабораторної роботи

4.2.1. Опис лабораторної установки

Дослідження ефективності захисного заземлення приводиться на універсальному лабораторному стенді моделюванням основних параметрів захисного заземлення, а також визначенням величини струму, що протікає через тіло людини, і напруги дотику. Конструкція установки забезпечує дискретну зміну параметрів досліджуваного методу захисту. Стенд (рис. 4.5) складається з базового блоку і вертикальної панелі.

4.2.2. Порядок виконання роботи

Дослідження захисного заземлення в мережі з ізольованою нейтраллю

Завдання. Визначити залежність величини струму, що протікає через тіло людини, від величини опору захисного заземлення.

1. Поставити перемикачі « R_0 », « $R_{\text{ч}}$ », « Z_n », « R_3 » у положення « ∞ », перемикачі «замикання 1», «замикання 2» – у положення «выкл», перемикачі «зануление», « R_3 », «обрив» у положення «выкл»

2. Перемикачі « R_3 » поставити в положення «4 Ом», « $R_{\text{ч}}$ » – у положення за завданням викладача. Включити тумблер «замикання 2» і по міліамперметру $A1$ виміряти струм, що протікає через тіло людини.

3. Провести аналогічні виміри в положеннях перемикача $R_3 = 25, 50, 100 \text{ Ом}$.

4. Результати вимірів занести в табл. 4.4.

Таблиця 4.4 Залежність струму, що протікає через людину, від величини опору захисного заземлення

$R_3, \text{Ом}$	$R_4, \text{кОм}$	I_4, mA
4		
25		
50		
100		
∞		

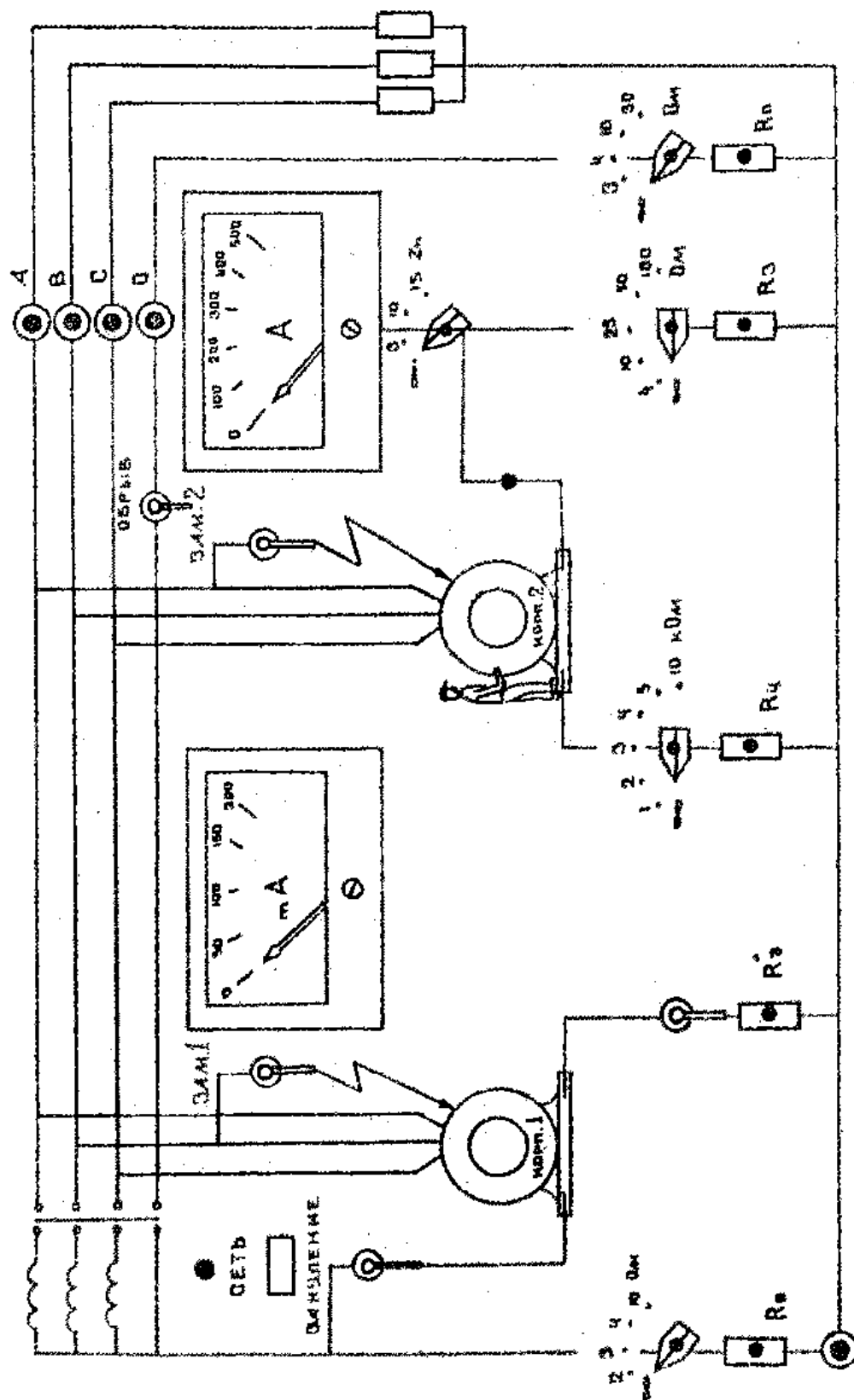


Рис. 4.5 – Стенд для дослідження захисного заземлення і занулення

5. За даними вимірів оцінити небезпеку збільшення R_3 вище допустимого опору (див. дод. 1.2, дод. 4.5).

6. Побудувати графік залежності $I_4 = f(R_3)$. Вказати на графіку область невідпускаючого і фібриляційного струмів (дод. 4.5).

Контрольні запитання

1. Визначення захисного заземлення.
2. Область застосування захисного заземлення в мережах трифазного струму.
3. Принцип нормування допустимих величин захисного заземлення.
4. Конструкція захисного заземлення.

Додаток 4.1

Захисне заземлення – навмисне електричне з'єднання з землею чи її еквівалентом металевих неструмоведучих частин електроустановки, що можуть виявитися під напругою.

Занулення – навмисне електричне з'єднання з нульовим захисним провідником металевих неструмоведучих частин електроустановки, що можуть виявитися під напругою.

Нульовий захисний провідник – провідник, що з'єднує зануляємі частини з глухозаземленою нейтральною точкою обмотки джерела струму.

Захисне відключення – швидкодіючий захист, що забезпечує автоматичне відключення електроустановки при виникненні в ній небезпеки поразки струму.

Додаток 4.2

Дані максимальних опорів заземляючих пристроїв у чотирьохпровідній мережі з глухозаземленою нейтраллю

Напруга трансформатора, В	Опір, Ом		
	заземляючого пристрою нейтралі трансформатора	повторних заземляючих пристроїв нульового проводу	кожного із повторних заземлювачів
660/380	2	5	15
380/220	4	10	30
220/127	8	20	60

Додаток 4.3

Вимоги ПУЕ до повторного заземлення нульового проводу в чотирьохпровідній мережі з глухозаземленою нейтраллю:

1. Повторне заземлення нульового проводу виконується на введеннях у будинки, а також на кінцях повітряних ліній і відгалужень довжиною більше 200 м.

2. При розміщенні занулених електроустановок поза будинками, відстань від електроустановки до найближчого повторного заземлювача повинна бути не більше 100 м.

Додаток 4.4

Вимоги ПУЕ до захисного заземлення електроустановок:

1. Захисному заземленню підлягають металеві частини електроустановок, які доступні для дотику людини і не мають інших видів захисту, що забезпечують електробезпеку.

2. Захисне заземлення виконується:

- при номінальній напрузі 380 В и вище перемінного і 440 В и вище постійного струмів – у всіх випадках;
- в усіх випадках при номінальних напругах від 42 до 380 В, і від 110 до 440 В постійного струму при роботах в умовах з підвищеною

небезпекою, і особливо небезпечних, а також у зовнішніх установках;

— при напрузі живлення нижче 42 В перемінного струму захисному заземленні підлягають вибухонебезпечні установки.

Додаток 4.5

Величина струму частоти 50 Гц, який протікає через тіло людини, мА	Характер дії струму, який протікає через тіло людини
0,5-1,5	Відчутна порогова дія
10-15	Поріг невідпускаючого струму
20-25	Параліч м'язів рук, затруднене дихання
50-80	Фібрилляційний струм, зупинка дихання
>100	Смертельний струм

Лабораторна робота № 5

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАНУЛЕННЯ

Мета роботи – ознайомлення з пристроєм, призначенням і основними характеристиками занулення в електроустановках напругою до 1000 В; дослідження впливу параметрів занулення на ступінь поразки людини електричним струмом.

5.1. Загальні положення

5.1.1. Занулення

Занулення застосовується в чотирьохпровідних мережах з глухозаземленою нейтраллю напругою до 1000 В. Це пов'язано з тим, що при пробі ізоляції і замиканні струмоведучих елементів на заземлений корпус у таких мережах захисне заземлення неструмоведучих частин електроустановок не забезпечує повної безпеки працюючих (дод. 4.1 і рис. 5.1.). У цьому випадку струм замикання на землю протікає через опір заземлення нейтралі джерела живлення R_0 і опір захисного заземлення електроустановки R_3 :

$$I_3 = \frac{U_\phi}{R_0 + R_3},$$

де U_ϕ – фазна напруга мережі.

Струм замикання I_3 , сформований у цьому випадку, як правило, недостатній для спрацювання струмового захисту (захисного

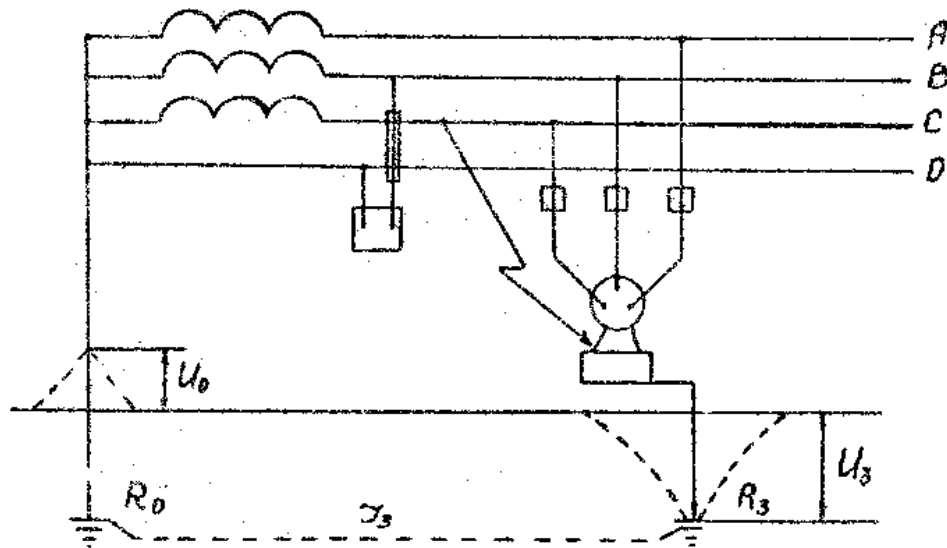


Рис. 5.1 – Замикання фази на корпус електроустановки у мережі з глухозаземленою нейтраллю

відключення ушкодженої електроустановки). Причому, тривала наявність струму замикання обумовить і існування небезпечної напруги з таким же часовим інтервалом на корпусах заземленого устаткування: $U_3 = I_3 \cdot R_3$. Внаслідок цього очевидна неможливість зменшення напруги замикання на корпусі електроустановки при аварійному режимі пристроєм захисного заземлення в мережі з глухозаземленою нейтраллю.

Одним з шляхів зниження небезпеки поразки людини є зменшення тривалості режиму замикання на корпус оперативним автоматичним відключенням ушкодженої ділянки. Однак на практиці, як правило, використовують метод занулення. У цьому випадку корпус електроустановки з'єднується не з заземлювачем, а з заземленим нульовим проводом мережі (рис. 5.2). Замикання фази на корпус при цьому перетворюється в однофазне коротке замикання, що викликає значні струми $I_{KЗ}$, достатні для спрацювання струмового захисту за допомогою автоматичних вимикачів чи запобіжників.

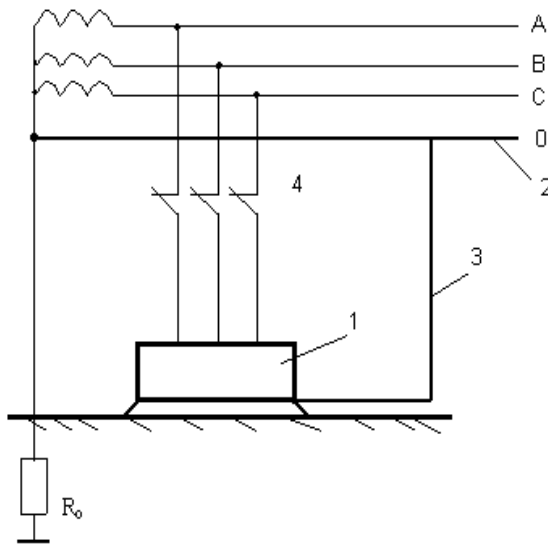


Рис. 5.2 – Схема занулення електроустановки: R_0 – електричний опір заземлення нейтралі джерела живлення; 1 – електрична установка; 2 – нульовий захисний провід; 3 – провід, який з'єднує корпус електричної установки з нульовим захисним проводом; 4 – контакти автомату захисту електроустановки

$$I_{KЗ} = \frac{U_{\Phi}}{Z}; \quad I_{KЗ} \geq I_{ПВ} \cdot K, \quad (5.1)$$

де Z – опір ланцюга «фаза-нуль» (петлі замикання);

$I_{ПВ}$ – номінальний струм плавкої вставки чи запобіжника;

K – коефіцієнт кратності струму замикання.

Виходячи з формули (5.1) можна обґрунтувати умову вибору і контролю опору провідників занулення, що забезпечують надійне відключення електроустановки у випадку розглянутої аварійної ситуації.

Коефіцієнт кратності струму замикання залежить від виду електроустановки і типу захисного пристрою, що відключає напругу живлення електроустановки. Цей коефіцієнт приймає значення $K = 3-1,25$ (згідно ПУЕ). Така величина коефіцієнту кратності струму замикання забезпечується тоді, якщо повний опір зануляючих провідників не більше 50 % опору фазного проводу (дод. 4.2). Важливою й обов'язковою умовами в цьому разі є: безперервність нульового проводу, з'єднання зварюванням його окремих ділянок і приєднання до корпусів електроустановок.

5.2. Експериментальна частина лабораторної роботи

5.2.1. Опис лабораторної установки

Дослідження ефективності занулення приводиться на універсальному лабораторному стенді моделювання основних параметрів занулення, а також визначенням величини струму, що протікає через тіло людини, і напруги дотику. Конструкція установки забезпечує дискретну зміну параметрів досліджуваних засобів захисту. Стенд (рис. 4.5) складається з базового блоку і вертикальної панелі.

5.2.2. Порядок виконання роботи

Дослідження занулення в чотирипровідній мережі з глухозаземленою нейтраллю

1. Поставити перемикачі « R_D », « R_3 », « R_0 », « R_H », « Z_n » на вертикальній панелі в положення « ∞ », тумблери «обрив», «занулення», R_{Σ} , «замикання 1» і «замикання 2» – у положення «выкл» (нижнє).

2. Включити кнопку «мережа» на вертикальній панелі і тумблер «мережа» на блоці. Про готовність стенду до роботи свідчить загорання індикаторів на блоці і вертикальній панелі.

3. Включити тумблер «замикання 2». При цьому на корпусі 2 електроустановки запалюється індикатор, що свідчить про те, що корпус знаходиться під напругою.

4. Установити перемикач « Z_n » у положення «3 Ом». Переконалися в спрацьовуванні автомата захисту.

5. Привести схему у вихідний стан у такий спосіб:

а) виключити тумблер «замикання 2»;

б) двічі натиснути на вертикальній панелі кнопку «мережа».

6. Перемикач « Z_n » установити в положення « ∞ », перемикач « R_4 » – у положення «1 кОм», тумблер «заземлення» – у положення «выкл», перемикачі « R_{II} », « R_0 » – в одне з положень, зазначених викладачем ($R_{II} = 30, 40, 100, 300 \text{ м}; R_C = 2, 3, 4, 10 \text{ Ом}$).

7. Установити обертанням правої ручки червону стрілку, що розташована на амперметрі A_2 , на значенні заданого викладачем номінального струму вставки розчіплювача автомата ($I_{ПВ} = 100-180 \text{ А}$).

8. Включити тумблер «замикання 2» і за амперметром A_2 зафіксувати струм короткого замикання в ланцюзі «фаза-нуль».

9. По міліамперметру A_1 виміряти струм, що протікає через тіло людини, а за секундоміром – час відключення електроустановки. (Якщо електроустановка не відключається протягом 30 с, то час відключення вважати нескінченним).

10. Виміряти напругу дотику на електроустановках 1 і 2. (У випадку відключення електроустановки вимірюванню підлягає тільки час відключення).

11. Привести схему у вихідний стан (п. 5). Натиснути на секундомірі кнопку «сброс».

12. Повторити аналогічні виміри для різних значень Z_n .

13. Результати вимірів занести в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 Вплив опору петлі «фаза-нуль» на величину напруги дотику і час відключення електроустановки

Z, Ом	Час Спрацьовування захисту, с	Напруга дотику, В		I_{K3}, A	I_4, A	$R_0, Ом$	$R_{\Gamma}, Ом$	$R_4, Ом$
		$U_{\text{ПР.1}}$	$U_{\text{ПР.2}}$					
	15							
	10							
	3							

14. Використовуючи отримані результати вимірів, зробити висновок про вплив Z_n на величину напруги дотику і на час відключення електроустановки.

15. Привести схему у вихідний стан (п. 5).

Завдання. Визначити вплив повторного заземлення нульового проводу на величину напруги дотику при обриві і при відсутності обриву нульового проводу.

1. Установити перемикачі « Z_n » у положення «10 Ом», « R_0 » у положення 4 Ом, « R_4 » – у положення «1 кОм», тумблер «зануление» – у положення «вкл».

2. Включити тумблер «замикання 2».

3. Змінюючи значення R_{Γ} , зняти показання I_{K3} , I_4 , $U_{\text{ПР.1}}$ і $U_{\text{ПР.2}}$. Дані вимірів занести в табл. 5.2.

4. Виключити тумблер «обрив».

5. Провести аналогічні вимірювання (п. 3) при відсутності обриву нульового проводу. Дані вимірів занести в табл. 5.3.

Таблиця 5.2 Залежність напруги дотику від величини повторного заземлення при обриві нульового проводу

$R_{\Gamma}, Ом$	I_{K3}, A	I_4, mA	$U_{\text{ПР.1}}, В$	$U_{\text{ПР.2}}, В$
3				
4				
10				
30				
∞				

Таблиця 5.3 Залежність напруги дотику від величини повторного опору заземлення при відсутності обриву нульового проводу

R_{Π} , Ом	I_{K3} , А	I_4 , мА	$U_{\Pi P.1}$, В	$U_{\Pi P.2}$, В
3				
4				
10				
30				
∞				

6. Виключити тумблер «замикання 2» і привести схему у вихідний стан.

7. За результатами вимірів побудувати залежності $U_{\Pi P.1} = f(R_{\Pi})$; $U_{\Pi P.2} = f(R_{\Pi})$ для випадків з обривом і без обриву нульового проводу. Зробити висновок про роль повторного заземлення нульового проводу і небезпеки його обриву, порівнюючи отримані результати з варіантом відсутності повторного заземлення нульового проводу ($R_{\Pi} = \infty$).

Контрольні запитання

1. Дати визначення занулення.
2. Описати область застосування занулення.
3. Описати принцип дії занулення.

Лабораторна робота № 6

ДОСЛІДЖЕННЯ ОПОРУ ІЗОЛЯЦІЇ МЕТОДОМ ТРЬОХ ВОЛЬТМЕТРІВ

Мета роботи – вивчення методів контролю ізоляції; оволодіння практичними навичками виміру опору ізоляції.

6.1. Загальні положення

Безпека електричних мереж у значній мірі визначається станом ізоляції струмоведучих частин (дод. 6.1). Аналіз мереж з глухозаземленою нейтраллю дозволяє зробити висновок, що струм замикання на землю і струм, що проходить через тіло людини, не залежать від величини опору ізоляції:

$$I_q = \frac{U_\phi}{R}.$$

У мережах з ізольованою нейтраллю опір ізоляції визначає величину струму замикання на землю, а значить і струму, що може протікати через тіло людини в аварійній ситуації:

$$I_q = \frac{3U_\phi}{3R_q + R_{из}}, \quad \text{чи} \quad I_q = \frac{U_\phi}{R_q + R_{из}/3},$$

де U_ϕ – фазна напруга (напруга між фазою і землею);

I_q – струм, що протікає через тіло людини;

$R_q, R_{из}$ – опори тіла людини й ізоляції.

Тривала експлуатація ізоляції, вплив кліматичних змін, механічні впливи призводять до ушкодження ізоляції, що викликає замикання на землю чи корпус електроустановок, короткі замикання. У випадку замикання на корпус виникає небезпека поразки людей електричним

струмом через те, що неструмоведучі частини виявляються під напругою. Для виявлення дефектів проводиться контроль і оцінка стану ізоляції – вимірювання її активного опору.

Контроль стану ізоляції підрозділяється на приймально-здавальний, періодичний і постійний (дод. 6.2). Опір ізоляції, згідно ПУЕ, повинен вимірюватися на відключеній електроустановці чи ділянці мережі. Вимірюється опір ізоляції кожної фази відносно землі між фазами (рис. 6.1) на кожній ділянці між двома послідовно встановленими запобіжниками, апаратами захисту, іншими пристроями, чи за останнім запобіжником.

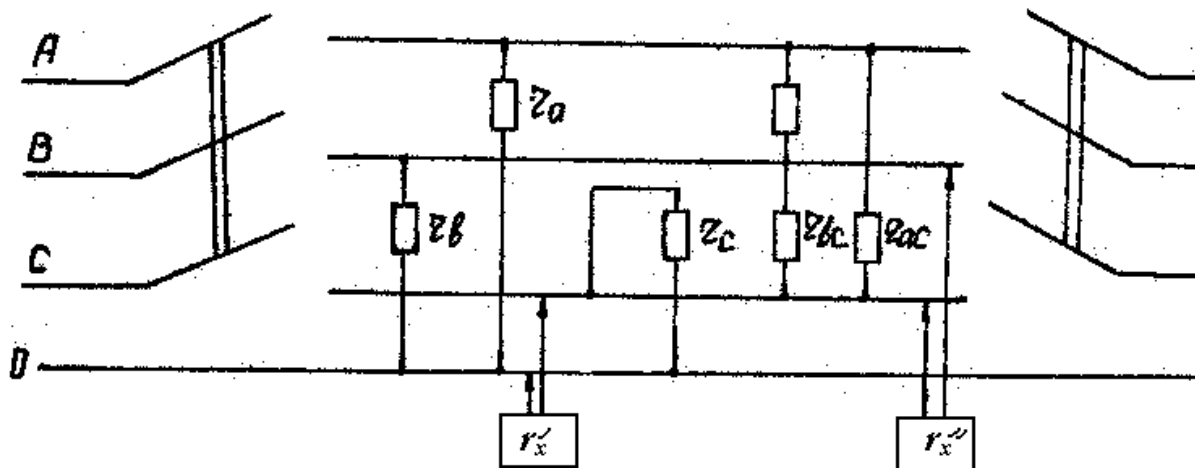


Рис. 6.1 - Схема виміру опору ізоляції мережі мегомметром (r'_x – вимір опору ізоляції фази відносно землі; r''_x – вимір опору ізоляції між фазами) r – клеми мегомметра

Для визначення величини опору ізоляції всієї мережі, виміри виконуються під робочою напругою, з підключеними споживачами. Опір ізоляції кожної ділянки в мережах напругою до 1000 В, згідно ПУЕ, повинен бути не нижче 0,5 МОм на фазу.

Періодичний контроль опору ізоляції здійснюється мегомметрами, наприклад, типу $\Phi 4101$ на напругу 100, 500, 1000 В і типу $MC-06$ на напругу 2500 В.

Для виміру опору ізоляції всієї мережі застосовуються різні схеми, найпростішим з яких є схема трьох вольтметрів (рис. 6.2). Вольтметри при цьому включаються в зірку з заземленою нейтральною точкою.

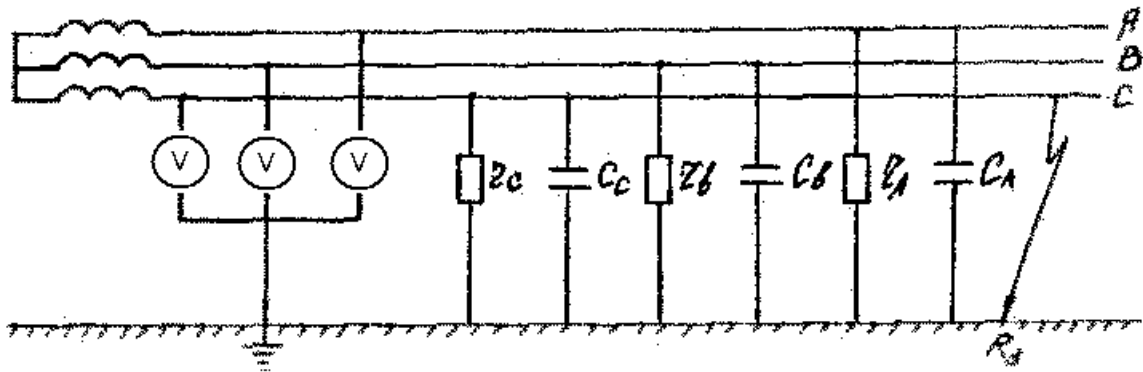


Рис. 6.2 - Контроль опору ізоляції трьома вольтметрами

Кожен вольтметр показує напругу тієї фази відносно землі, до якої він підключений. Провідності справної ізоляції практично симетричні $Y_A \approx Y_B \approx Y_C \approx Y$, тому напруга зсуву нейтралі невелика і напруга фаз відносно землі, яку показують вольтметри, практично дорівнює фазній напрузі джерела живлення.

При замиканні на землю однієї з фаз, допустимо фази C, напруга ушкодженої фази C відносно землі визначається з виразу

$$U_{C3} = 3U \frac{R_3}{Z} \rightarrow 0, \text{ тому що } |Z| \gg R_3,$$

де U_{C3} – напруга фази, що замкнула, B;

U – фазна напруга джерела;

Z – повний опір ізоляції інших фаз;

R_3 – опір замикання.

В розглядуваному випадку напруга справних фаз буде більше фазної і наближається до лінійної. Таким чином, при справній ізоляції вольтметри показують напругу, приблизно рівну фазній.

При глухому замиканні на землю якої-небудь фази, один з вольтметрів показує нуль, а два інших – практично лінійну напругу.

6.2. Експериментальна частина лабораторної роботи

6.2.1. Опис лабораторної установки

Лабораторна установка зібрана на основі універсального макета (рис. 6.3), що дозволяє імітувати трифазну трипровідну мережу з ізолюваною нейтраллю і досліджувати деякі методи контролю ізоляції. У цьому випадку електрична ємність мережі щодо землі не враховується.

Установка складається з базового блоку і вертикальної панелі, на якій виконується імітація струмів витоку в різних фазах мережі перемикачами «витік», а також підключення вольтметрів до фаз.

6.2.2. Порядок виконання роботи

А. Дослідження процесу контролю ізоляції методом трьох вольтметрів

Завдання 1. Дослідити явища, що виникають при погіршенні опору ізоляції однієї з фаз. Зробити висновки.

1. Поставити тумблер «мережа» універсального блоку в нижнє положення.

2. Установити кнопки «мережа», «витік», «витік АВС» на вертикальній панелі лабораторного стенду у віджате положення.

3. Установити перемикачі вертикальної панелі « Z_A », « Z_B », « Z_C » у положення «1», а перемикач « Z_{ABC} » у положення «0».

4. Тумблер «мережа» базового блоку перевести у верхнє положення, натиснути кнопку «мережа» вертикальної панелі лабораторного стенду.

5. Проконтролювати наявність напруги у фазах за сигнальною лампою і показанням вольтметрів.

6. Імітувати витік струму в ізоляції однієї з фаз натисканням відповідної кнопки «*витік*» і установкою перемикача опору ізоляції фаз у положення, що відповідають варіанту, заданому викладачем (табл. 6.1).

7. Занести показання вольтметрів у табл. 6.2.

Таблиця 6.1 Варіанти навчального завдання

Варіант	Витік	Положення перемикача		
		Z_A	Z_B	Z_C
1	ФА	1,3,5	1	1
2	ФА	1,2,5	1	1
3	ФА	2,3,5	1	1
4	ФА	2,4,5	1	1
5	ФВ	1	2,4,5	1
6	ФВ	1	2,3,5	1
7	ФВ	1	1,2,5	1
8	ФВ	1	1,3,5	1
9	ФС	1	1	1,3,5
10	ФС	1	1	2,3,5
11	ФС	1	1	1,2,5
12	ФС	1	1	2,4,5

Таблиця 6.2 Показання вольтметрів при зміні опору ізоляції однієї з фаз

Варіант	Положення перемикачів			Показання вольтметра, В		
	Z_A	Z_B	Z_C	V_A	V_B	V_C

Завдання 2. Дослідити явища, що виникають при симетричному зниженні опору ізоляції трьох фаз.

1. Установити перемикачі лабораторного стенду у вихідне положення, для чого виконати пп. 1, 2, 3 завдання 1.

2. Перевести тумблер «мережа» універсального блоку у верхнє положення, натиснути кнопку «мережа» вертикальної панелі стенду.

3. Проконтролювати наявність напруги на фазах по сигнальній лампі і показанням вольтметрів.

4. Імітувати витік одночасно в ізоляції трьох фаз натисканням кнопки «витік ABC» і послідовною установкою перемикача Z_{ABC} у положення 1, 2, 3, 4, 5.

5. Занести показання вольтметрів у табл. 6.3.

Таблиця 6.3 Показання вольтметрів при одночасному погіршенні ізоляції трьох фаз

Положення перемикачів Z_{ABC}	Показання вольтметрів, В		
	V_A	V_B	V_C
1			
2			
3			
4			
5			

Додаток 6.1

Типи ізоляції

Ізоляція робоча – електрична ізоляція струмоведучих частин електроустановки, що забезпечує її нормальну роботу і захист працюючих від ураження електричним струмом.

Ізоляція додаткова – електрична ізоляція струмоведучих частин електроустановки, передбачена додатково до робочої ізоляції на випадок ушкодження робочої ізоляції.

Ізоляція подвійна – електрична ізоляція струмоведучих частин електроустановки, яка складається з робочої і додаткової ізоляції.

Ізоляція посилена – поліпшена електрична ізоляція струмоведучих частин електроустановки, що забезпечує такий же ступінь захисту, як і подвійна ізоляція.

Додаток 6.2

Види контролю опору ізоляції

Приймально-здавальний контроль – виконується при введенні в експлуатацію знову змонтованих чи електричних мереж, що вийшли з ремонту, і електроустановок.

Періодичний контроль – виконується в діючій електричній мережі чи електроустановці періодично, у терміни, установлені Правилами устрою електроустановок (ПУЕ) чи при виявленні дефектів.

Постійний контроль – виконується в діючій електричній мережі чи електроустановці відповідно до положення ПУЕ.

Контрольні питання

1. Зв'язок рівня електробезпеки і стану ізоляції мережі живлення.
2. Причини погіршення ізоляції.
3. Способи контролю стану ізоляції електричної мережі.
4. Достоїнства і недоліки контролю стану ізоляції методами трьох вольтметрів.
5. Яка мінімальна величина опору ізоляції при напругах до 1000 В.

Лабораторна робота № 7

ДОСЛІДЖЕННЯ ОПОРУ ІЗОЛЯЦІЇ МЕГОММЕТРОМ

Мета роботи – вивчення методів контролю ізоляції; оволодіння практичними навичками виміру опору ізоляції.

Дослідження ізоляції ділянки мережі мегомметром

1. Поставити тумблер «*мережа*» універсального блоку в нижнє положення.

2. Установити кнопки «*мережа*», «*витік*», «*витік ABC*» на вертикальній панелі лабораторного стенду у віджите положення.

УВАГА! Забороняється приступати до вимірів, попередньо не переконавшись у відсутності напруги на ділянці електричної мережі, що перевіряється!

3. Перевірити відсутність напруги в мережі

а) включити мілівольтметр ВЗ-38 тумблером «*мережа*»;

б) поставити перемикач меж виміру мілівольтметра ВЗ-38 у положення «*300 В*»;

в) підключити мілівольтметр по черзі до усіх фаз відносно землі (гнізда «*A*», «*B*», «*C*») і переконатися в відсутності напруги на ділянці електричної мережі;

г) виключити мілівольтметр.

4. Поставити перемикачі «*Z_A*», «*Z_B*», «*Z_C*» у положення відповідно до варіанта, заданому викладачем (табл. 7.1).

УВАГА! Забороняється при роботі доторкатися до сполучних проводів мегаомметра, струмопровідних елементів мегаомметра і вимірюваної ділянки мережі.

Таблиця 7.1 Варіанти завдань

Варіант	Положення перемикача		
	Z_A	Z_B	Z_C
1	1	1	1
2	2	2	2
3	3	3	3
4	4	4	4
5	5	5	5
6	2	4	5
7	5	2	3
8	2	3	4
9	3	4	5
10	4	1	5
11	3	4	2
12	5	2	4

5. З'єднати корпус мегомметра (клема «3») з корпусом універсального лабораторного блоку (рис. 7.4).

6. Включити мегомметр натисканням кнопки «вкл», світловий

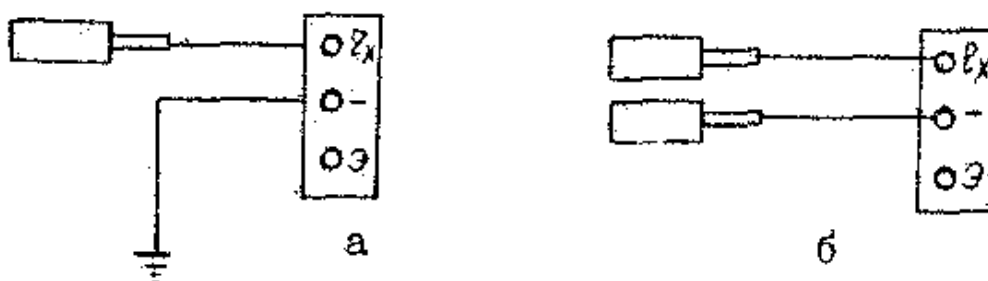


Рис. 7.4 - Схеми виміру опору ізоляції:
а – відносно землі; б – між двома фазами

індикатор приладу сигналізує про його включення.

7. Установити перемикач робочих напруг на 500 В.

8. Установити перемикач діапазонів вимірів мегомметра в положення «1». При розімкнутих затисках « r_x », натиснувши кнопку «измер», установити ручкою «уст. ∞ » стрілочний показчик мегомметра на ціну шкали « ∞ ».

9. Замкнути затиски « r_x ». Натиснувши кнопку «измер» ручкою «уст. 0», установити стрілочний показчик мегомметра на ціну шкали «0».

10. Підключити ділянку мережі, на якій відсутня напруга, до затисків « r_x » мегомметра відповідно до схеми, наведеної на рис. 7.4,а.

11. Установити перемикач діапазонів виміру мегомметра в положення «1».

12. Натиснути кнопку «измер», подавши тим самим на ділянку мережі високу напругу. На час виміру тримати кнопку «измер» натиснутою.

13. У випадку наближення стрілочного показчика до ціни шкали « ∞ » послідовно переводити перемикач діапазонів мегомметра з положення 1 у положення, при якому показчик установиться в робочій частині шкали.

14. Зафіксувати величину обмірюваного опору ізоляції по положенню стрілочного індикатора мегомметра з урахуванням відповідної шкали і помножуючи отриманий результат на множники, що відповідають обраній шкалі виміру і робочій напрузі мегомметра.

15. По закінченні виміру відпустити кнопку «измер», установити перемикач діапазонів у положення «1».

УВАГА! Після відпускання кнопки «измер» напруга на затисках мегомметра знижується до безпечної величини за 5...10 с.

16. Занести результати в табл. 7.2.

17. Підключити мегомметр до ділянки електричної мережі згідно рис. 7.4,б.

18. Виконати виміри згідно наведеним вище пп.

19. Виключити мегомметр.

20. Установити перемикачі універсального лабораторного стенду у вихідне положення, для чого виконати вказівки пп. 1, 2, 3. завдання 1.

21. Зробити висновки за результатами вимірів. Виявити достоїнства і недоліки дослідженого методу контролю.

Таблиця 7.2 Результати вимірів

Варіант	Положення перемикачів			Опір ізоляції фаз, Ом·м					
				Між фазами і землею			Між фазами		
	Z_A	Z_B	Z_C	A	B	C	A-B	A-C	B-C

Контрольні питання

1. Зв'язок рівня електробезпеки і стану ізоляції мережі живлення.
2. Причини погіршення ізоляції.
3. Способи контролю стану ізоляції електричної мережі.
4. Достоїнства і недоліки контролю стану ізоляції методом виміру опору ізоляції.
5. Яка мінімальна величина опору ізоляції при напругах до 1000 В.
6. Заходи безпеки при вимірюванні опору ізоляції мереж мегомметром.

Лабораторна робота № 8

ДОСЛІДЖЕННЯ ОПОРУ ЗАХИСНОГО ЗАЗЕМЛЕННЯ ТА ІЗОЛЯЦІЇ СТРУМОВЕДУЧИХ ЧАСТИН ЕЛЕКТРИЧНИХ УСТАНОВОК

Вимоги безпеки при виконанні лабораторної роботи

1. Студент допускається до виконання роботи після перевірки його знань за допомогою контрольних запитань.
2. Забороняється приступати до роботи, не переконавшись у справності електричних проводів і відсутності напруги на досліджуваному об'єкті.
3. Живлення лабораторного стенда дозволяється включати тільки після перевірки викладачем схеми вимірів досліджуваних параметрів.
4. При вимірюванні опору захисного заземлення до початку обертання рукоятки генератора необхідно перевірити цілісність усіх проводів і якість з'єднань, тому що при обриві зовнішньої потенційної мережі, стрілка приладу різко відхиляється вправо, що може призвести до псування приладу.
5. При вимірюванні опору ізоляції мегометром Ф 4102, після відпускання кнопки «ИЗМ.» напруга на затискачах, що призначені для підключення досліджуваного об'єкту, знижується до безпечної величини за 5...10 с. Тому дозволяється дотикатись до них тільки по закінченні цього терміну часу.
6. При роботі з мегометром забороняється доторкатися до проводів, що з'єднують елементи мегометра з об'єктом дослідження.

Мета роботи: - закріпити теоретичні знання, одержані при вивченні таких методів захисту людини від ураження електричним струмом при виконанні робіт в електричних установках:

1. Захисне заземлення.
2. Забезпечення недоступності струмоведучих частин електроустановок.

В результаті виконання роботи студент повинен:

- навчитися вимірювати опір захисного заземлення електроустановки;
- оцінювати ступінь небезпечності струму, що проходить через тіло людини при різних значеннях опору захисного заземлення;
- навчитися вимірювати опір ізоляції струмоведучих частин електроустановки (електричних проводів).
- Поставлена мета досягається проведенням необхідних вимірів та досліджень з подальшим формулюванням відповідних висновків.

8.1. Загальні відомості

Ураження людини електричним струмом можливо тільки тоді, коли вона стає елементом замкнутого електричного ланцюга та при відповідних параметрах електричного струму в ланцюзі. При цьому через її тіло може протікати струм небезпечної величини, який викликатиме різні реакції в організмі людини.

Основними причинами ураження людини електричним струмом в електроустановках (ЕУ) напругою до 1000 В є такі:

- випадковий дотик до струмоведучих частин, що знаходяться під напругою;
- попадання під напругу через помилкове вмикання напруги живлення ЕУ;

- дотик до неструмоведучих частин ЕУ, що виявилися під напругою внаслідок ушкодження ізоляції;
- попадання під напругу кроку та напругу дотику.

Перші дві причини виникають внаслідок недотримання правил електробезпеки. Дві наступні – при аварійних ситуаціях.

Одними з основних засобів захисту людини від ураження електричним струмом в аварійних ситуаціях при виконанні робіт в електроустановках є устрій захисного заземлення та ізоляція струмоведучих частин ЕУ (дод. 8.1).

8.1.1. Захисне заземлення електроустановок

Сутність захисного заземлення полягає в навмисному електричному з'єднанні з землею або її еквівалентом металевих неструмоведучих частин ЕУ, які можуть виявитися під напругою в аварійних ситуаціях.

Принцип дії захисного заземлення ЕУ полягає у зниженні напруги дотику людини та величини електричного струму, що протікає через її тіло, до небезпечних величин. Це забезпечується малою величиною електричного опору захисного заземлення ЕУ у порівнянні з опором тіла людини. Так, опір захисного заземлення ЕУ в електричних мережах напругою до 1000 В повинен становити не більше $R_3 \leq 4$ Ом. (Опір тіла людини, що приймають при розрахунках, становить $R_L = 1000$ Ом) (дод. 8.2).

Завдяки такому співвідношенню опорів R_3 та R_L струм замикання ЕУ (I_3) розподіляється між опором захисного заземлення і опором тіла людини обернено пропорційно цим опорам. Унаслідок цього через тіло людини протікає безпечна частина цього струму.

В трифазних мережах напругою до 1000 В захисне заземлення застосовується в ЕУ, що живляться від джерел електричного струму з ізолюваною нейтраллю (рис. 8.1).

Згідно з положеннями нормативно-технічної документації захисне заземлення електроустановок необхідно виконувати в наступних виробничих ситуаціях:

- при напрузі 380 В і вище перемінного і 440 В і вище постійного струму в усіх випадках;
- при напрузі 42...380 В перемінного і 110...440 В постійного

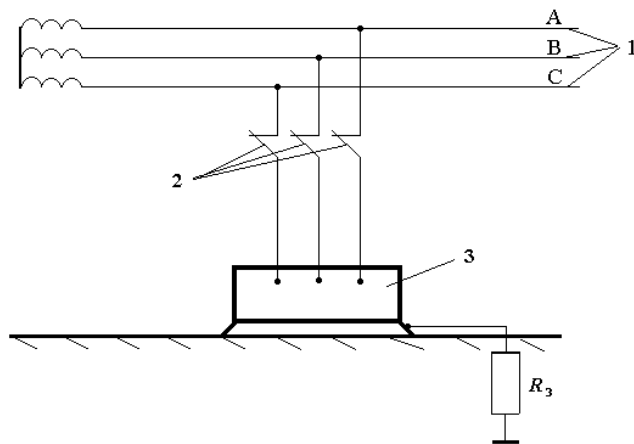


Рис. 8.1 - Схема захисного заземлення електроустановки: 1 – магістраль живлення електричної установки; 2 – контакти електричного вимикача; 3 – електрична установка; R_3 – електричний опір захисного заземлення

струму при роботах в електроустановках, що розміщені у приміщеннях з підвищеною небезпекою та особливо небезпечних приміщеннях за ступенем ураження людини електричним струмом;

- у вибухонебезпечних приміщеннях при всіх напругах перемінного і постійного струму.

Найбільші допустимі опори (R_3) захисних заземлюючих пристроїв ЕУ, згідно ПУЕ, наведені у дод. 8.2. У процесі експлуатації ЕУ внаслідок корозії, механічних пошкоджень і др. опір захисного заземлення може підвищуватись, що призводить до збільшення електричного струму, що протікає через тіло людини. Наслідком цього може бути ураження людини електричним струмом в аварійних ситуаціях.

Тому нормативними документами встановлено, що контроль відповідності (вимірювання величини) опору розтікання електричного струму захисних заземлюючих пристроїв ЕУ їх нормативним величинам *обов'язково проводять перед вводом їх в експлуатацію і щорічно*.

8.1.2.Ізоляція струмоведучих частин електроустановок

Значна частина від загальної кількості уражень людини електричним струмом в ЕУ напругою до 1000 В пов'язана з ушкодженням ізоляції струмоведучих частин. Такі ушкодження виникають в результаті її механічного пошкодження, природного старіння і т. ін.

Електрична ізоляція струмоведучих частин ЕУ класифікується так (дод. 8.1):

- робоча;
- додаткова;
- подвійна;
- посилена.

Надійність ізоляції струмоведучих частин ЕУ забезпечується наступними заходами:

- правильним вибором ізоляційного матеріалу, який повинен підбиратися з урахуванням умов навколишнього середовища та експлуатації (напруги живлення ЕУ, категорії виробничого приміщення за ступенем ураження людини електричним струмом наявності агресивного середовища, що може діяти на матеріал ізоляції і т. ін.);

- захистом від механічних ушкоджень;
- проведенням приймально-здаючих випробувань відповідно до вимог ПУЕ;

- систематичним контролем за станом ізоляції з проведенням обов'язкових періодичних випробувань величини її електричного опору відповідно до вимог ПТЕ і ПБЕЕ.

Так, згідно з вимогами нормативно-технічних документів, періодична перевірка величини опору ізоляції здійснюється в електроустановках напругою до 1000 В не рідше одного разу на рік у нормальних виробничих приміщеннях і не рідше двох разів на рік у сирих приміщеннях і в приміщеннях з їдкими парами і газами по відношенню до матеріалу, з якого виготовлена ізоляція.

Для вимірювання електричного опору ізоляції використовують спеціальні прилади - мегометри.

8.2. Експериментальна частина лабораторної роботи

8.2.1. Прилади й устаткування.

Вимірювання опору захисного заземлення електроустановки

У даній лабораторній роботі для вимірювання електричного опору захисного заземлення ЕУ застосовується прилад МС-08. Цей прилад дозволяє вимірювати:

- опір розтіканню електричного струму захисного заземлюючого пристрою ЕУ;
- опір розтіканню електричному струму одиночних заземлювачів ЕУ і сполучних проводів;
- питомий опір ґрунту.

Для вимірювання електричного опору захисного заземлення ЕУ в розглядуваному випадку необхідні два допоміжні заземлювача - потенційний (R_{II}) (зонд) і струмовий (R_T), які розташовують від контрольованого захисного заземлюючого пристрою ЕУ на відстанях,

зазначених на рис. 8.2. (Опір захисного заземлюючого пристрою ЕУ позначено (R_x) (рис. 8.2)). Довжина допоміжних заземлювачів $R_{II} = R_T = 1$ м. є завжди сталою величиною. Спрощена схема вимірювання наведена на рис. 8.3.

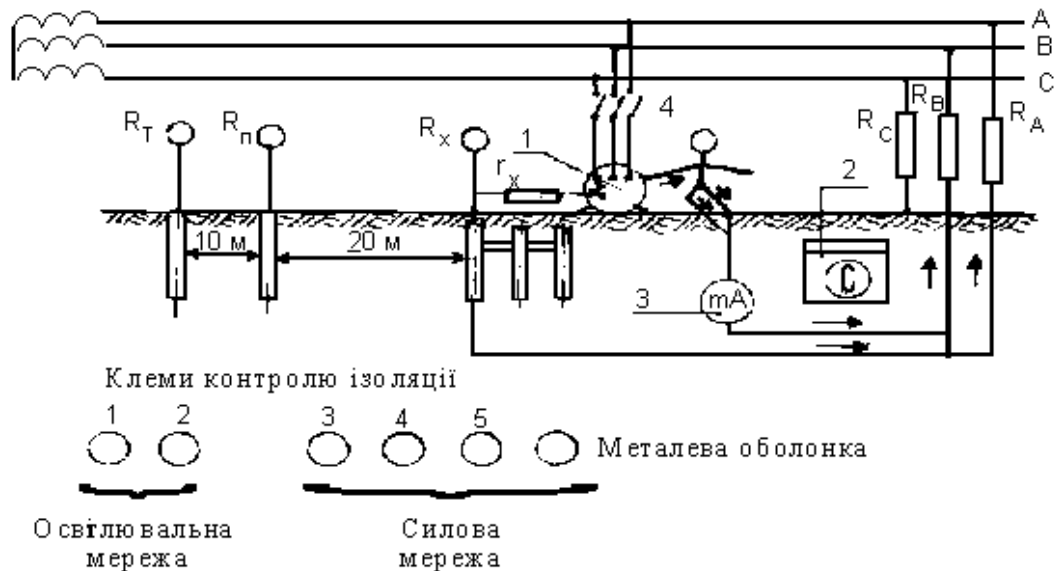


Рис. 8.2 - Схема вимірювання електричного опору захисного заземлення на лабораторному стенді

Для виміру опору захисного заземлюючого пристрою на його конструкцію необхідно подати електричний струм. Струм подається від прилада МС-08, в якому є вмонтований генератор постійного струму. Генератор приводять в дію обертанням рукоятки, що знаходиться збоку вузької частини приладу МС-08.

Перед початком вимірювань, до подачі напруги від приладу МС-8, на схему вимірювання опору R_x , (початку обертання рукоятки генератора) необхідно старанно перевірити цілісність усіх проводів і якість зовнішніх з'єднань.

Треба пам'ятати, що в разі обриву зовнішнього (потенційного) проводу, який з'єднує клему МС-8 E_2 , (рис. 8.4) з потенційним заземлювачем, при обертанні рукоятки генератора Γ стрілка

вимірювального приладу МС-8 різко відхиляється вправо, що може привести до його ушкодження.

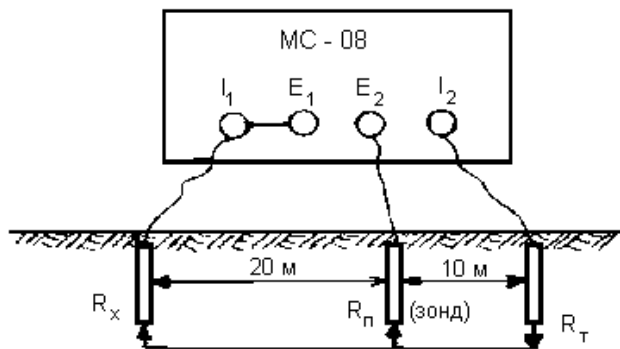


Рис. 8.3 - Спрощена схема вимірювання

швидкістю 120 об/хв, за допомогою регульовального реостата 2, встановлюють стрілку шкали вимірів (3) на червоній позначці (поділка 600).

Обертання ручки генератора необхідно починати повільно, з постійно наростаючою швидкістю.

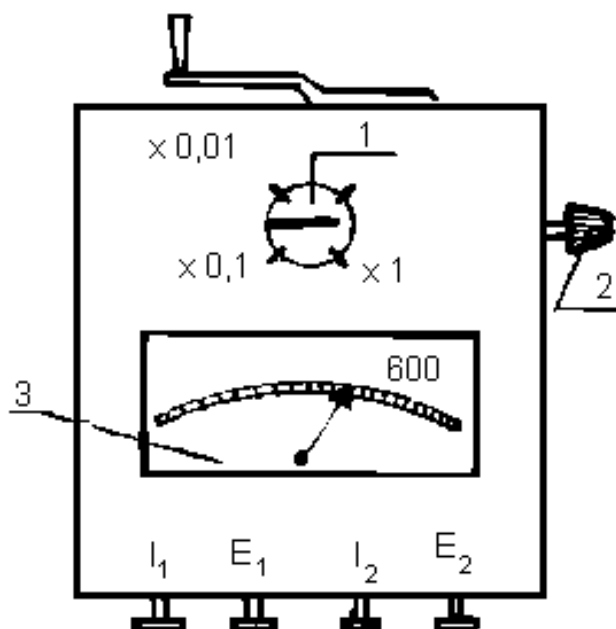


Рис. 8.4 - Мегометр МС-08

діапазон «Вимір $\times 0,1$ » (шкала 100 Ом), а якщо і цього недостатньо – то на діапазон «Вимір $\times 0,01$ » (шкала 10 Ом).

Після складання і перевірки схеми виконують компенсацію зовнішніх опорів потенційного проводу. Для цього перемикач діапазонів вимірів 1 (рис. 8.4) ставлять у положення «Регулювання» і, обертаючи ручку генератора зі

Після компенсації зовнішніх опорів потенційного проводу перемикач діапазонів виміру 1 ставлять у положення «Вимір $\times 1$ » (шкала 1000 Ом). Якщо при обертанні ручки генератора зі швидкістю 120 об/хв стрілка незначно відхиляється від нульової позначки, то потрібно перейти на

Відлік вимірів роблять безпосередньо зі шкали приладу при безупинному обертанні ручки генератора. Якщо при цьому перемикач діапазонів вимірів займав положення (х 0,1) або (х 0,01), то результат вимірів перемножують відповідно на величину 0,1 або 0,01.

8.2.2. Вимірювання опору ізоляції струмоведучих частин електроустановки

Для вимірювання опору ізоляції струмоведучих частин ЕУ в даній лабораторній роботі використовується мегометр Ф 4102.

Порядок роботи з приладом Ф 4102 такий:

1. Встановити перемикач вимірювальних напруг, що подаються на ЕУ, в положення 500 В.

2. При розімкнутих затискачах **2** натиснути кнопку «ИЗМ. 1» і установити ручкою «УСТ. ∞» стрілку приладу на відмітку «∞».

3. Замкнути затискачі **2** і, натиснувши кнопку «ИЗМ. 1», установити ручкою «УСТ. 0» стрілку приладу на «0». Потім, натиснувши одночасно обидві кнопки «ИЗМ. 1» і «ИЗМ. П», перевірити установку стрілки на «0».

4. Підключити об'єкт вимірювання до затискачів **2**. Натиснути кнопку «ИЗМ. 1» і затримати її в такому положенні. Після того, як стрілка установилася, зробити відлік значення вимірюваного опору ізоляції за шкалою 1.

Якщо потрібно зробити вимірювання опору ізоляції ЕУ з підвищеною точністю, то необхідно: невідпускаючи кнопку «ИЗМ. 1», додатково натиснути на кнопку «ИЗМ. П» і зробити відлік вимірюваного опору за шкалою II.

Першим завданням цієї частини лабораторної роботи є вимірювання опору ізоляції між проводами освітлювальної мережі.

Другим завданням лабораторної роботи є вимірювання опору ізоляції струмоведучих жил кабеля. При визначенні опору ізоляції жил кабеля з металевою оболонкою спочатку вимірюють опір ізоляції між кожною жилою і металевою захисною оболонкою, а потім – між струмоведучими жилами.

8.2.3. Стенд для проведення лабораторної роботи

Стенд моделює захисний заземлюючий пристрій для електродвигуна 1. (рис. 8.2).

Цей захисний заземлюючий пристрій конструктивно виконано з чотирьох розташованих у ряд вертикальних електродів (стальні труби діаметром 50 мм і довжиною 2,5 м), заглублених у ґрунт і з'єднаних між собою горизонтальною металевою смугою перетином 4 х 40 мм. З'єднання вертикальних електродів з горизонтальною смугою виконується зварюванням. Саму металеву смугу у ґрунті закладають на глибині 0,5...0,7 м. Відстань між вертикальними електродами становить 3,0 м.

Корпус електродвигуна з'єднаний з захисним заземлюючим пристроєм гнучким багатожильним мідним проводом.

Допоміжні електроди (R_{II}) і (R_T) забиті в землю на відстані 20 і 30 м від R_x . Всі елементи схеми з'єднані з відповідними клемми на стенді.

Для дослідження ефективності дії захисного заземлення (впливу величини опору захисного заземлення на ступінь ураження людини електричним струмом), між корпусом електродвигуна і захисним заземлюючим пристроєм умонтований перемінний опір R . Цей опір імітує зміну опору захисного заземлення. Регулювання величини опору R виконують за допомогою перемикача 2. Величина струму, що умовно проходить при дослідженнях через тіло людини, фіксується міліамперметром 3.

При виконанні завдання з вимірювання опору ізоляції обмоток, електродвигун треба відключити від лінії роз'єднувачем 4.

Для дослідження опору ізоляції на стенді закріплені деякі типи кабелів і проводів, виводи яких приєднані до відповідних клем.

8.2.4. Порядок виконання досліджень

1. Вивчити нормативні вимоги, які пред'являються до величини опору захисного заземлення й ізоляції струмоведучих частин електроустановок.

2. Ознайомитися з лабораторним стендом для вимірювання опору розтіканню струму захисного заземлюючого пристрою і опору ізоляції.

3. Ознайомитися з приладами для вимірювання опору захисного заземлення та ізоляції ЕУ. Дати їх стислий опис.

4. Скласти схему для вимірювання опору розтіканню струму захисного заземлюючого пристрою.

5. Зробити вимірювання опору захисного заземлюючого пристрою. Результати вимірів зафіксувати (прот. 1). Результат порівняти з установленою нормативною величиною (дод. 8.1). При визначенні необхідної нормативної величини прийняти, що ЕУ живиться напругою до 1000 В і має потужність менше 100 кВА.

6. Зробити вимірювання струму, що проходить через тіло людини при різних значеннях опору захисного заземлюючого пристрою. Для цього перемикачем 2 ступенево збільшувати опір захисного заземлення і згідно з показанням міліамперметра 3 записувати величину електричного струму і його фізіологічну дію на людину. Отримані дані занести до протоколу 2. Використовуючи одержані дані побудувати криву залежності величини струму, що проходить через тіло людини, від величини опору захисного заземлюючого пристрою.

7. Виміряти опір ізоляції освітлювального проводу і кабелю. Отримані дані занести до протоколу 3. Результати вимірювань порівняти з нормативними значеннями, що встановлені вимогами ПУЕ (дод. 8.3), і зробити висновки на їх відповідність та допустимість експлуатації освітлювального проводу і кабелю.

Протокол 1.

Вимірювання опору захисного заземлення

Опір захисного заземлення, Ом		Висновок на відповідність фактичного опору захисного заземлення нормативному значенню
Фактичний	Допустимий (нормативне значення)	

Протокол 2.

Дослідження величини струму, що проходить через тіло людини залежно від опору захисного заземлюючого пристрою

Но- мер замі- ру	Опір захисного заземлення, Ом	Величина струму, що проходить через тіло людини, мА	Фізіологічна дія електричного струму на людину

Протокол 3.

Вимірювання опору ізоляції

Дослід- жува- ний об'єкт	Номера клем контрол ю ізоляції	Величина опору ізоляції, МОм		Висновки на відповідність фактичного опору ізоляції нормативному значенню
		Фактична	Нормативна (допустима)	
	1-2			
	3-0			
	4-0			
	5-0			
	3-4			
	3-5			
	4-5			

Контрольні запитання

1. Що називається захисним заземленням ?
2. На чому заснований принцип дії захисного заземлення ?
3. Якими приладами вимірюють опір розтіканню струму захисних заземлюючих пристроїв ?
4. Яка встановлена періодичність вимірювання опору розтіканню струму захисних заземлюючих пристроїв ?
5. Зарисувати схему підключення приладу для вимірювання опору захисного заземлення.
6. Як на практиці виконується захисний заземлюючий пристрій?
7. Які встановлені допустимі величини опору розтіканню струму захисного заземлення при напрузі живлення ЕУ до 1000 В?
8. Якими приладами вимірюється опір ізоляції електричних проводів і струмоведучих частин електричних установок?
9. Яка встановлена періодичність вимірювання опору ізоляції електричних проводів і струмоведучих частин електричних установок?
10. Перелічіть види ізоляції струмоведучих частин електроустановок.

Додаток 8.1

Ізоляція робоча — електрична ізоляція струмоведучих частин електроустановки, яка забезпечує її нормальну роботу та захист працюючих від ураження електричним струмом.

Ізоляція додаткова - електрична ізоляція струмоведучих частин електроустановки, передбачена додатково до робочої ізоляції на випадок ушкодження робочої ізоляції.

Ізоляція подвійна - електрична ізоляція струмоведучих частин електроустановки, яка складається з робочої та додаткової ізоляції.

Ізоляція посилена – поліпшена електрична ізоляція струмоведучих частин електроустановки, яка забезпечує таку ж ступінь захисту, як і подвійна ізоляція.

Додаток 8.2

Найбільші допустимі опори захисних заземлюючих пристроїв (ЗП) в електроустановках

Характеристика електричних установок	Найбільший допустимий опір захисного заземлюючого пристрою, Ом
1. Електроустановки до 1000 В Захисні заземлюючі пристрої електроустановок і мереж з ізолюваною нейтраллю за допомогою генератора або трансформатора: до 100 кВА більш 100 кВА	4 При питомому опорі ґрунту $\rho > 500 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ допускається збільшувати зазначені значення в $\rho / 500$ разів

Додаток 8.3

Допустимий опір ізоляції (ПУЕ)

Випробуваний об'єкт	Напруга мегометра, кВ	Найменша величина опору ізоляції, МОм
Силові й освітлювальні електричні проводи	1,0	0,5

Література

1. Охрана труда / Под ред. Б.А. Князевского. – М.: Высшая школа, 1982.
2. Серіков Я.О. Основы электробезопасности. Навч посібник. Х.: ХНАМГ, 2011.
3. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. – М.: Энергия, 1979.
4. Серіков Я.О. Основы охорони праці. Навч посібник. Х.: ХНАМГ, 2007.
5. Бергельсон В.Н., Бржезицкий Л.И. Электробезопасность в строительстве. - Киев: Будивельник, 1987.
6. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – М.: Атомиздат, 1984.
7. Правила улаштування електроустановок ПУЕ. – Х.: Форт, 2011.
8. ДНАОП 1.1.10-1.01-2000 правила безпечної експлуатації електроустановок (ПБЕЕ).
9. ГОСТ 12.1.019-79*. ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
10. ГОСТ 12.1.030-81. ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт

з дисципліни

«ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА В БУДІВНИЦТВІ»

(для студентів спеціальності

7.06010101, 8.06010101 «Будівництво»)

Укладачі: СЕРІКОВ Яків Олександрович

ЦАРЕВСЬКИЙ Олег Віталійович

ОДАРЕНКО Олександр Анатолійович

За авторською редакцією

План 2014, поз. 151М

Підп. до друку 01.07.2015

Формат 60 × 84/1/16

Друк на ризографі.

Ум. - друк. арк. 1,0

Тираж 30 прим.

Зам. №

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК №4705 від 28.03.2014 р.